

**VERGLEICHENDE UNTERSUCHUNG DER
METHODEN ZUR KNOCHENALTERSCHÄTZUNG
NACH GREULICH-PYLE
UND TANNER-WHITEHOUSE
AN MINDERWÜCHSIGEN KINDERN**

Peter Grünzner

1976



Digitized by the Internet Archive
in 2026

Aus der Kinderklinik der Universität München
Direktor: Prof. Dr. K. Betke

Vergleichende Untersuchung der Methoden
zur Knochenalterschätzung nach Greulich-Pyle
und Tanner-Whitehouse an minderwüchsigen Kindern

Inaugural Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde in der Zahnheilkunde
verfaßt und einer Hohen Medizinischen Fakultät
an der Ludwig Maximilians - Universität zu München

vorgelegt von
Peter E. A. Grünzner
aus Moosburg

München 1976

Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät der
Universität München

Berichterstatter: Priv. Doz. Dr. O. Butenandt

Mitberichterstatter: Prof. Dr. K. Betke

Dekan: Prof. Dr. Spann

Tag der mündlichen Prüfung: 5.10.1976



Meiner Frau

I N H A L T S V E R Z E I C H N I S

EINLEITUNG	1
VORBEMERKUNGEN	3
METHODEN DER KNOCHENALTERBESTIMMUNG	4
KNOCHENALTER DER HAND	10
DEFINITION UND FORMEN DES MINDERWUCHSES	15
EIGENE UNTERSUCHUNGEN	20
METHODENDARSTELLUNG	
Methode nach GREULICH-PYLE	27
Methode nach TANNER-WHITEHOUSE	34
ERGEBNISSE	36
DISKUSSION	86
ZUSAMMENFASSUNG	99
LITERATURVERZEICHNIS	105

EINLEITUNG

Das Bemühen um die Beurteilung des körperlichen Reifezustandes wirft die Frage nach angemessenen und objektivierbaren Kriterien auf. Bestimmte Reifeprozesse in der Entwicklung des Patienten stellen sich z.B. in phänotypischen Parametern dar, die jedoch bei näherer Betrachtung als nur bedingt geeignet zur Einschätzung des qualitativen Entwicklungsniveaus angesehen werden müssen.

So dienen Körpergröße, Körpergewicht, Körperoberfläche sowie Kopfumfang, Arm- und Beinlänge und ähnliches mehr lediglich der quantitativen Beurteilung der körperlichen Fortentwicklung. Entsprechende Standards der normalen Entwicklung, die nach Ansicht von Tanner (61) auf Grund longitudinaler Untersuchungen gewonnen werden müssen, sind in Form von Größe- bzw. Gewichtstabellen zusammengestellt worden in England von Gore und Palmer (1949, 0-5 Jahre), Daley (1950, 6-17 Jahre) und Sutcliffe und Canham (1950, 5-17 Jahre), in Amerika von Vickers und Stuart (1943), Simmons (1944), Gray und Ayres (1931), o'Brien, Girshick und Hunt (1941), Stuart und Meredith (1946) und Meredith (1946) (zit. n. Tanner [61]).

Darunter fallen auch die im Anschluß an die Untersuchungen von Stuart und Mitarbeitern entwickelten Kurven von Stuart und Stevenson (57), die zur Beurteilung der somatischen Entwicklung nach Gewicht, Größe, Hüftbreite, Kopfumfang, Brustumfang und für spätere Lebensalter auch Sitzhöhe und Bauchumfang dienen, sowie die Somatogramme von Vogt (66) und Kunze (35).

Wachstum, das sich durch Zunahme an Masse und Volumen, also Gewichts- und Größenveränderung äußert, wird von

Greulich (30) von der Entwicklung im Sinne der Reifung unterschieden, die Ausdruck jener Prozesse sei, die fortschreitend zur Erlangung eines höheren Reifegrades führten. Als Maß für die qualitativen Vorgänge und damit die eigentliche Reife müssen im Sinne des Ausspruches von Todd auf der Whitehouse Conference 1933, wonach das "Reifen" nicht als schiere Massenzunahme verstanden werden darf, andere Beurteilungskriterien herangezogen werden.

So hielt z.B. Rotch (50) die Knochenalterbestimmung für geeignet, um die Schulreife eines Kindes zu beurteilen. House (33) war ebenfalls der Meinung, daß das Skeletalalter eines normalen sechsjährigen Kindes dazu benutzt werden kann, um zusammen mit anderen Mitteln Rückschlüsse auf die Gesamtreife und damit auch die geistige Reife eines Kindes, speziell auch seine "Lesereife", zu ziehen. Nach überwiegenden Meinungen in der Literatur besteht jedoch kein Zusammenhang zwischen Skelettreife und psychosozialer Entwicklung (Grau und Klaus [26,27]).

Andere Autoren sehen einen Zusammenhang zwischen Knochenentwicklung und geschlechtlich-hormonalen Reifungsprozessen. Greulich, Dorfman, Catchpole, Solomon und Culotta (27) weisen auf eine enge Verbindung zwischen Skelettentwicklung und der Gonadenfunktion, sowie dem Auftreten der sekundären Geschlechtsmerkmale hin. Nach den Beobachtungen Florys (zit.n. Hansman, Maresh [31]) trat in keinem Fall die Menarche vor dem Erscheinen des Sesamoids an Metacarpale I auf. Ebenso berichten Hansman und Maresh (31) über eine enge Beziehung zwischen Geschlechtsreife und Skeletalalter, wonach letzteres bei Mädchen mit verfrühter Menarche über demjenigen von Mädchen mit regulär einsetzender Menarche liegt. Nach Prader (5) zeigen Wachstums- und Pu-

bertätsverlauf mit dem Knochenalter eine bessere Korrelation als mit dem chronologischen Alter. Das Knochenalter sei deshalb als Maßstab für das biologische Alter, also den qualitativen Entwicklungsstand oder die Reife eines Kindes, anzusehen.

Nach Ansicht obengenannter und anderer Autoren ist das Knochenalter, dessen Begriffsinhalt noch genauer erläutert wird, ein brauchbarer Maßstab, wenn es um die Einschätzung der Reife, also die objektive Bewertung biologischer Veränderungen, geht.

VORBEMERKUNGEN

Häufig werden an Stelle des Begriffes Knochenalter die Synonyma Skeletalalter und Ossifikationsalter gebraucht. Es sei an dieser Stelle darauf hingewiesen, daß der Begriff des Knochenalters heute als nicht ganz korrekt gilt, ebenso die Begriffe Längenalter und Gewichtsalter. Im Bereich der Knochenreife sollten vereinfachte und verbesserte Score-Methoden das Knochenalter ersetzen, wie dies in einem Rundtischgespräch unter der Leitung von Budli-ger (5) zum Ausdruck kommt.

Da der Begriff des Knochenalters aber nach wie vor gebräuchlich ist - auch Tanner-Whitehouse sprechen in der Beschreibung ihrer Score-Methode von "skeletal age" - wird im Folgenden diese Bezeichnung verwendet.

Knochenalter bedeutet, daß das Alter eines Kindes, d.h. seine Reife, an Hand einzelner Abschnitte des Skeletsystems ermittelt wird. Die einzelnen Knochen werden dabei in Bezug auf Erscheinungszeitpunkt, Formausbildung und -wandel,

nach ihrer Größe und dem Endpunkt der Entwicklung untersucht, mit dem Normalfall verglichen und somit eingestuft. Aus der Gesamtzahl der Einzelknochenbeobachtungen, dem Vergleich mit Normwerten und deren Schwankungsbreite, die im Idealfall aus genügend großen Kollektiven gesunder Kinder der gleichen Population gewonnen wird, schließt man auf das individuelle biologische Alter, das sogenannte Knochenalter des untersuchten Kindes.

METHODEN DER KNOCHENALTERBESTIMMUNG

Im Laufe der letzten Jahrzehnte sind mannigfache Versuche unternommen und Methoden erstellt worden, die der Ermittlung des kindlichen Knochenalters dienen sollten.

Schon zu Beginn unseres Jahrhunderts wurden Wege gesucht, das Skeletsystem im Zusammenhang mit der körperlichen Reife zu beurteilen, zumal durch die Möglichkeit der Röntgenuntersuchung völlig neue Mittel zur Verfügung standen.

So weist z.B. von Ranke (44) schon 1896 auf die Verwendbarkeit der Röntgenstrahlen zur Illustration der Ossifikationsvorgänge in der menschlichen Hand hin. Rotch (49) und Pryor (41 u.zit.n.Hansman, Maresh [31]) hielten die Handwurzel bzw. die Knochen der Hand für die brauchbarsten Reifeindikatoren. Die Bemühungen Witzels aus dem Jahr 1907 (zit.n. Garn et al. [16]) stellten frühe Versuche dar, Röntgenaufnahmen in anatomischen Sammlungen wiederzugeben.

METRISCHE METHODEN

Metrische Methoden bestimmen die Größe; sie vernachlässigen dabei die Form.

Entsprechende Methoden, speziell die planimetrische Bestimmung der Knochenkerngröße der Hand und des Handgelenks, wurden erstmals von Carter (7) und Baldwin (3) benutzt. Catell (8) verwendet Carpalia, Metacarpalia und Epiphysen, um deren Durchmesser zu ermitteln, Schmid und Moll (52) messen die Carpalia sowie die Daumen-, Radius- und Ulnaepiphyse. Eine verbesserte metrische Methode wurde von Eklöf und Ringertz (10) durch eine Auswahl der Carpalia und Einbeziehung bestimmter Metacarpalia und Phalangen ausgearbeitet. Von den Autoren selbst als lineare Meßweise bezeichnet ist noch zu erwähnen die Methode von Schulte-Brinkmann und Konrad (53), sowie Schulte-Brinkmann et al. (54). Es werden dabei Höhe und Breite aller Carpalia sowie der distalen Unterarmepiphysen gemessen. Die Autoren stellten eine enge positive Korrelation zwischen linearer Meßweise und planimetrischer Auswertung aller Carpalia fest, mit der Folgerung, daß beide Methoden gleichwertig seien.

NUMERISCHE METHODEN

Sogenannte numerische oder Zählmethoden zählen bestimmte ausgewählte Ossifikationszentren, wobei dann die Summe der vorhandenen Knochenkerne mit Werten verglichen wird, die von normalen, gesunden Kindern gewonnen wurden. Zuerst wurde diese Art der Reifebestimmung vorgeschlagen von Sontag et al. (55), später verfeinert und ausgebaut von Elgenmark (11). Elgenmark benötigt die Aufnahme einer

Körperhälfte oder sieben verschiedener Regionen. Größter Nachteil dieser Methode ist die mit ihr verbundene hohe Strahlenexposition des Untersuchten. Ein weiterer Mangel ist, daß die Grenze für die Anwendbarkeit bei etwa 5 Jahren liegt, da von den 73 wichtigsten postnatalen Knochenkernen bei Knaben vor dem sechsten Lebensjahr bereits 60, bei Mädchen bereits 65 erschienen sind. Schließlich ist die große Ungenauigkeit der Methode zu vermerken, da die Normwerte stark streuen und ein zweijähriges Kind z.B. zwischen 14 und 51 Ossifikationszentren aufweisen kann. Garn und Rohmann (15) halten die Zählung von Knochenkernen für nicht präzise, meinen jedoch, daß sie bei der Knochenalterbestimmung in bestimmten Fällen bei Kindern jenseits P_3 und P_{97} als zusätzliche Hilfe nützlich sein kann.

Age-of-appearance Liste

Gesondert zu erwähnen ist an dieser Stelle die sog. age-of-appearance Liste von Garn, Silverman und Rohmann (16). Nach dieser Methode gibt der zuletzt erschienene, d.h. also der jüngste Knochenkern, das Knochenalter an. Man braucht dazu nicht die ganze Körperhälfte, sondern es müssen nur die jeweils interessierenden Körperabschnitte geröntgt werden. Das Verfahren ist statistisch gut ausgearbeitet. Es ist die einzige praktisch wichtige Alternative zum Knochenalter der Hand.

MORPHISCHE METHODEN

Bei den morphischen Methoden werden ausschließlich Form-

entwicklungen herangezogen.

ATLASMETHODEN

Flory (zit.n.Hansman, Maresh [31]) und Todd (65) haben unabhängig voneinander Standards für Carpalia, Metacarpalia und Epiphysen aufgestellt, die sie aus longitudinalen Studien von Röntgenbildern der Hand und des Handgelenks gewonnen hatten. Die Methode von Greulich-Pyle aus dem Jahr 1950 (28) ist eine Weiterführung des Atlases von Todd, nochmals abgeändert und verbessert zum Atlas von Greulich-Pyle aus dem Jahr 1959 (29).

Die Methode gründet sich auf Untersuchungen, die in den Jahren 1931 - 1942 unter der Führung von Todd durchgeführt wurden. Sie begannen mit Studien an 3 Monate alten Säuglingen und wurden dann auf Kinder bis zu 14 Jahren ausgedehnt. Die Kinder waren alle in den USA geboren und fast alle nordeuropäischer Herkunft.

Außer dem Greulich-Pyle'schen Atlas für die Hand und das Handgelenk gibt es noch den Atlas von Pyle und Hoerr (42) für das Knie und den von Hoerr, Pyle und Francis (32) für den Fuß und das Fußgelenk.

Bone - specific - bone - age - Methode

Eine verfeinerte Methode der Knochenalterschätzung benutzt ebenfalls den Greulich-Pyle'schen Atlas. Im Unterschied zur Atlasmethode, bei der die einzelne Hand als Ganzes in einer "overall" - Beurteilung mit den im Atlas abgebildeten Händen verglichen wird, wird bei dieser bone-specific-bone-age-Methode für jeden einzelnen Knochenkern ein Knochenalter gesondert bestimmt. Aus der Verteilung dieser Einzelknochenalter ergibt sich dann das Knochenalter der ganzen

Hand. Dieses Verfahren wurde in der vorliegenden Arbeit bei der Bestimmung des Knochenalters nach Greulich-Pyle angewendet.

SCORE - SYSTEM

Als sogenannte Oxford-Methode wird die Methode von Acheson (1) bezeichnet, die Einzelknochen in verschiedenen Körperregionen mit Punktwerten, die entsprechenden Entwicklungsstufen zugeordnet sind, versieht, und die Punktwertsummen an Hand von Tabellen wertet. Dieser Methode ähnlich sind die beiden Score-Methoden von Tanner-Whitehouse für das Handskelet von 1962 (59) und 1972 (60), bezeichnet als T.W.I und T.W.II. Einer der wesentlichen Unterschiede zwischen diesen beiden Methoden besteht darin, daß in der Methode T.W.II eine zusätzliche Möglichkeit der Knochenalterschätzung angegeben wird, wobei entweder nur die Carpalia oder nur Radius, Ulna und Fingerepiphysen benutzt werden. Das zur Entwicklung der Methode T.W.I verwendete Kollektiv von 2564 Kindern größtenteils englischer Abstammung wurde mit Kindern der höheren Altersgruppen bis zu 18 Jahren auf 2800 Kinder erweitert, um den ursprünglich vorhandenen Mangel in diesen Altersklassen zu beseitigen.

ZAHNALTER

Interessant ist auch die Möglichkeit der sogenannten Zahnalterbestimmung. Nach Tanners (61) Kenntnis waren Zahnentwicklung und Zahndurchbruch noch nicht zur Reifebestimmung verwendet worden, ein Versuch wäre aber von In -

teresse; das Hauptgewicht solle vor allem auf die Anwendung vor der Pubertät gelegt werden.

Inzwischen wurden Standards für die Zahnentwicklung in Percentileform angegeben von Garn et al. (16) nach folgenden Kriterien: Beginn der Kronenverkalkung sowie der Wurzelbildung und Schluß des Foramen apicale. Andere Daten auf Grund von Querschnittsuntersuchungen ohne Geschlechtsunterschied und prä- und postnatale Differenzierung stammen von Schour, Massler und Kronfeld (zit.n. Lauterstein[36]). Noyes, Savara, Dachi und Nolla (zit. n. Lauterstein[36]) erarbeiteten sog. Calcifizierungsindices.

Rotch (49) war der Meinung, daß der Zahnwechsel eine schlechte Korrelation zum Alter zeige. Derselben Meinung sind Robinow, Richards und Anderson (zit.n. Sutow[58]), die die Zahnentwicklung als einen relativ unabhängigen Vorgang bezeichnen und keine Korrelation zum Knochenalter sehen, sowie Wagner und Cohen (67), die außerdem auf die beschleunigte Zahnentwicklung bei excessiver Androgenausschüttung hinweisen.

Demgegenüber eignet sich nach Garn et al. (16) das Zahnalter recht gut als Hilfsmittel zusätzlich zur Skeletalalterbestimmung und korreliert gut mit dem Knochenalter, auch wenn allgemein gesagt werden kann, daß die Zahnentwicklung im gesamten Verlauf wesentlich weniger von Ernährungsschwankungen und Störungen im endokrinen System abhängig ist als das Skeletsystem (Garn, Lewis, Kerewsky[20]) und außerdem die Variationsbreite bei Zahnbildung und -durchbruch sowie der Geschlechtsunterschied kleiner sind als in der Skeletentwicklung (Garn, Lewis, Koski und Polacheck[21]). Lauterstein (36) kann gleichermaßen eine hohe positive Korrelation zwischen Wurzelalter

des unteren Sechsjahrmolaren und dem Knochenalter fest - stellen, in ähnlicher Weise äußern sich Demisch und Watterman (zit.n. Lauterstein[36]). Die Untersuchungen von Sutow, Terasaki und Ohwada (58) an 1000 japanischen Kindern zwischen 6 und 14 Jahren zeigten, daß bei Kindern mit gleichem Lebensalter diejenigen mit beschleunigtem Knochenalter auch eine größere Anzahl bereits durchgebrochener Zähne aufwiesen und umgekehrt, was ebenfalls für einen engen Zusammenhang zwischen Zahnentwicklung und Knochenalter spricht.

KNOCHENALTER DER HAND

Die Hand als repräsentativer Körperteil

Die beiden im Folgenden zu vergleichenden Methoden der Knochenalterschätzung verwenden nur die Knochenkerne der Hand als Reifeindikatoren. Diese Auswahl der Hand als repräsentativer Körperteil hat sich heute größtenteils durchgesetzt.

Pyle und Sontag (43), Elgenmark (11) und Wilkins (68) fordern die Beurteilung des gesamten Skelets. So können nach Garn, Silverman und Rohmann (17) Knochenalterschätzungen, die nur von der Hand gewonnen werden, in Einzelfällen mehr als zwei Jahre von Schätzungen, die auf den 6 Körperregionen von Hand, Fuß, Ellbogen, Knie, Schulter und Hüfte beruhen, abweichen, die Hand sei jedoch für sich betrachtet zur Skelettreifebeurteilung weder besser noch schlechter als andere Körperabschnitte (Garn, Silverman, Rohmann und Blumenthal, zit.n. Garn[16]). Nach Fendel (12) sind Knochenalterschätzungen im ersten Le -

bensjahr ungenau, wenn neben der Hand nicht auch Fuß- und Kniegelenk berücksichtigt werden.

Die Tatsache, daß die Hand am häufigsten verwendet wird, steht diesen Meinungen gegenüber und wird von Garn et al. (16) in verschiedener Weise begründet:

Aus rein technischen Erwägungen sind Ossifikationszentren, die durch anterior-posteriore Aufnahmen darzustellen sind, am geeignetsten, zweitens liefert neben dem Knie und dem Fuß die Hand von den 6 oben genannten Körperregionen die meisten sekundären Ossifikationszentren. Ein wesentlicher Gesichtspunkt ist die Strahlenbelastung, die bei der Hand, allerdings auch am Fuß, am geringsten ist.

Es kann trotz einiger gegenteiliger Ansichten gesagt werden, daß die Hand als repräsentativer Körperabschnitt zur Skelettreifebestimmung, besonders für den klinischen Gebrauch, angesehen werden kann. So ist nach Schulte-Brinkmann und Konrad (53) das Handskelet zur Beurteilung der normalen oder gestörten körperlichen Entwicklung ein zuverlässiger Maßstab, ebenso ist laut Greulich-Pyle (29) die Röntgenaufnahme der Hand das am besten brauchbare Verfahren, das momentan zur Verfügung steht, um die Entwicklung eines Kindes zu beurteilen.

Gleichwertigkeit der Knochenkerne

Von Stuart, Pyle, Cornoni und Reed (56) wurde festgestellt, daß die Korrelation zwischen Ossifikationsbeginn und -dauer immer negativ ist, zwischen Ossifikationsbeginn und -ende immer positiv, d.h. je früher der Verkalkungsbeginn, desto größer ist der Zeitraum bis zum Abschluß, je später die Verknöcherung auftritt, umso später - wenn auch nicht

direkt proportional - ist die Reifung abgeschlossen. Untersuchungen über die Ossifikationsreihenfolge wurden angestellt von Flecker (13), Flory (zit.n. Hansman, Maresh[31]), Baldwin (3), Robinow (45), Todd (65), Francis und Werle (zit.n.Hansman, Maresh [31]), Pyle und Sontag(43), Stuart in Nelson (57) und Greulich-Pyle (29).

Quintessenz all dieser Beobachtungen ist u.a., daß die Knochenkerne der Hand zu ganz bestimmten Zeiten und in festgelegter Reihenfolge auftreten.

Heute hat man jedoch erkannt, daß das Auftreten der einzelnen Ossifikationszentren einer breiten Streuung unterworfen ist und daß es in Bezug auf die Reihenfolge Umkehrungen gibt (Garn, Rohmann [19]).

Die teilweise sehr großen Abweichungen von der "normalen" Ossifikationsreihenfolge selbst bei gesunden Kindern, wie sie von Garn und Rohmann (19) beobachtet wurden, erschweren die Knochenalterschätzung ganz erheblich.

Während Hansman und Maresh (31) die Gesamtbewertung aller Knochenkerne der Hand vorziehen, da die isolierte Auswertung von Carpalia oder Phalangen zu Fehlschlüssen führen müsse und die Knochenalterschätzung so zu einer willkürlichen Altersfestlegung würde, verursacht nach Garn et al. (16) die große Variationsbreite in der Verknöcherungsreihenfolge speziell der Carpalia nur Ungenauigkeiten in der Schätzung. Das Triquetrum z.B. kann in beliebiger Reihenfolge zwischen dem 3. und 24. erscheinenden Kern auftreten (Garn, Rohmann [18], Garn, Silverman, Rohmann [16]). Die "round bones" hätten demnach wenig Aussagekraft, qualitativ am höchsten zu bewerten seien :

bei Knaben :

bei Mädchen :

Phalanx distalis 2,3,4,5

Phalanx distalis 1,2,3,4

Phalanx media	3,4	Phalanx proximalis	2,3,4,5
Phalanx proximalis	5	Metacarpale	1,2,3,4,5
Metacarpale	2,3,4,5		

Nach einer umfangreichen Untersuchung von Garn und Rohmann (14) sind bei Knaben und Mädchen Metacarpalia und Phalangen die verlässlicheren Reifungsindikatoren, wobei insgesamt von den Knochenkernen der Hand und des Handgelenks Carpalia und distale Radius- und Ulnaepiphyse die geringste Interkorrelation in Bezug auf Ossifikationsbeginn und -reihenfolge zeigen, während sie bei Phalanx proximalis 1,2,3,4,5 (Mädchen) und Phalanx distalis 1,2,3,4,5 (Knaben) am größten ist.

Rechts - Links Unterschiede

Es wird im allgemeinen nicht angezweifelt, daß zwischen rechter und linker Hand nur minimale, praktisch zu vernachlässigende Unterschiede bestehen, bezogen auf Ossifikationszeitpunkt und -reihenfolge der einzelnen Knochenkernne. Zwar ergab sich nach Budliger (5) bei statistischen Untersuchungen eine gewisse Differenz im Reifegrad der linken und der rechten Hand, die jedoch so klein ist, daß sie außer Acht gelassen werden kann. Ebenso fanden Dreizen, Snodgrass, Pelpoe, Parker und Spies (9) beim Vergleich von 450 linken und rechten Händen, daß zu beobachtende Seitenunterschiede auf jeden Fall zu gering seien, um eine wirkliche Fehlerquelle bei der Reifebestimmung darstellen zu können.

Die rechte und die linke Hand sind zwar als gleichwertig zu betrachten, man hat sich jedoch allgemein auf die linke Hand geeinigt, was auch von Hansman und Maresh (31) in

ihrer Untersuchung empfohlen wird. Greulich und Pyle (29) halten die linke Hand deshalb für geeigneter, weil sie , da nur die wenigsten Menschen Linkshänder sind, als Nichtgebrauchshand weniger Verletzungs- und Verstümmelungs - gefahren ausgesetzt sei.

Geschlechtsunterschied

Daß Geschlechtsunterschiede in Bezug auf Größenwachstum und Gewichtszunahme bestehen, ist allgemein bekannt. Tanner, Whitehouse und Takashi (62) machen darüber nähere Angaben. Geschlechtsunterschiede in der Ossifikation des Handskelets sind heute ebenso unumstritten. Pryor (zit.n. Hansman, Maresh [31]) erkannte als erster, daß die Verknöcherung bei Mädchen schneller fortschreitet als bei Knaben. Schmid und Moll (52) ignorieren jedoch diesen Unterschied, da er ihrer Meinung nach für die Praxis zu gering sei. Demgegenüber berichten aber Hansman und Maresh (31), daß 64% der Mädchen in ihrer Untersuchung mit 5 Jahren 7 Kerne aufwiesen, während dies bei nur 5% der Knaben im Alter von 5 Jahren der Fall war. Der Ossifikationsvorsprung der Mädchen vor den Knaben ist nach Garn, Silverman und Rohmann (16) sogar schon vor der Geburt festzustellen. In einer anderen Arbeit (15) weisen die gleichen Autoren darauf hin, daß Mädchen schon im Alter von ein, eineinhalb und drei Jahren im Schnitt doppelt so viele Knochenkerne haben wie Knaben; speziell für Triquetrum, Trapezium und Trapezoid ergibt sich ein deutlicher Geschlechtsunterschied in der Ossifikationsreihenfolge (Garn, Rohmann [19]). In Zahlenwerten ausgedrückt zeigen sich Unterschiede zwischen 0,1 Jahren (Capitatum) und 2,05 Jahren (Trapezoid) (Garn et al. [16]).

Die Knochenalterbestimmung ist besonders wichtig bei der Beurteilung von Wachstumsstörungen.

Beispiel einer klinischen Anwendung der Knochenalterbestimmung: Skeletalter beim Minderwuchs.

Die vorliegende Arbeit befaßt sich mit dem Vergleich zweier Methoden zur Bestimmung des Knochenalters beim Minderwuchs.

DEFINITION UND FORMEN DES MINDERWUCHSES

Definition des Minderwuchses

Kriterien, mit deren Hilfe die Beurteilung bzw. Feststellung des Minderwuchses erfolgt, seien im Folgenden beschrieben.

Die Verteilung bzw. Variationsbreite verschiedener Parameter der körperlichen Entwicklung, z.B. Körperlänge, Körpergewicht, Kopfumfang, Brustumfang, etc., innerhalb eines bestimmten Kollektivs gleichaltriger Kinder kann statistisch erfaßt werden.

Der Bereich der physiologischen Schwankungsbreite läßt sich auf zwei Arten angeben:

Man kann ihn abgrenzen unter Verwendung der Standardabweichung, was zur Definition $M \pm 2\sigma$ führt, wobei M der Mittelwert und σ die Standardabweichung der Verteilung ist.

Die andere Möglichkeit bietet sich in der Verwendung von Percentilewerten an. Hierbei stellen P_3 und P_{97} die Grenzen des Normalbereichs dar.

Die Angabe von Standardabweichung und Mittelwert ist nur bei Normalverteilungen (Gauß'schen Verteilungen) ge-

stattet, während die Angabe von Percentilewerten auch bei schiefen Verteilungen möglich ist. Außerdem braucht man etwa viermal soviel Kinder, um P_{95} mit derselben Genauigkeit zu bestimmen wie 1,65 σ , bei $P_{97,5}$ sind es im Vergleich zu 2 σ vierzehnmal soviel (Tanner [56]).

Da bei unserem Patientengut jedoch nicht mit einer Normalverteilung gerechnet werden konnte, benutzten wir die Tafeln von Stuart (57), die mit Percentilewerten arbeiten, obwohl das Kollektiv von Stuart nicht aus europäischen Kindern sondern aus amerikanischen Kindern besteht, die Werte schon älter sind und mittlerweile neuere Daten aus unserem Bereich vorliegen (Kunze [35]). Da diese jedoch mit Normalverteilungen arbeiten, sind sie, wie schon erwähnt, nicht geeignet zur Anwendung bei schiefen Verteilungen.

Zwischen den beiden Werten P_3 und P_{97} liegen 94 % z.B. aller gemessenen Körperlängen. P_3 grenzt somit den Bereich der normalen Minusvarianten ab, P_{97} den der normalen Plusvarianten. 6 % aller Kinder liegen mit ihrer Körperlänge außerhalb der physiologischen Schwankungsbreite, ihre Größe liegt in 3 % der Fälle unter dem Wert P_3 , in 3 % der Fälle über dem Wert P_{97} . Durch Verbinden der P_3 - bzw. der P_{97} -Werte gewinnt man entsprechend die 3.Percentile bzw. die 97.Percentile, wonach dann der Entwicklungsverlauf festgelegt ist.

Es sei hier noch die Relativität der Begriffe "normal" und "unnormal" erwähnt, worauf auch Tanner (61) eingeht. Er weist eindrücklich auf die Willkürlichkeit der Festlegung von Grenzwerten hin, innerhalb derer noch Normalität anzutreffen ist.

Knorr (34) bezeichnet den Kleinwuchs mit Körperlängen

unterhalb P_3 als Zwergwuchs. Teller (64) sieht einen Gradunterschied zwischen den beiden Begriffen Kleinwuchs und Zwergwuchs, wobei letzterer die stärkere Hemmung des Wachstums beinhalte. Aus Gründen der klareren Definition empfiehlt er, bei pathologischer Hemmung des Wachstums und der Entwicklung allgemein von Minderwuchs zu sprechen. Auch in der vorliegenden Arbeit wird nur der Begriff Minderwuchs verwendet.

Formen des Minderwuchses

Beim Minderwuchs sind nach seiner Ätiologie verschiedene Formen zu unterscheiden:

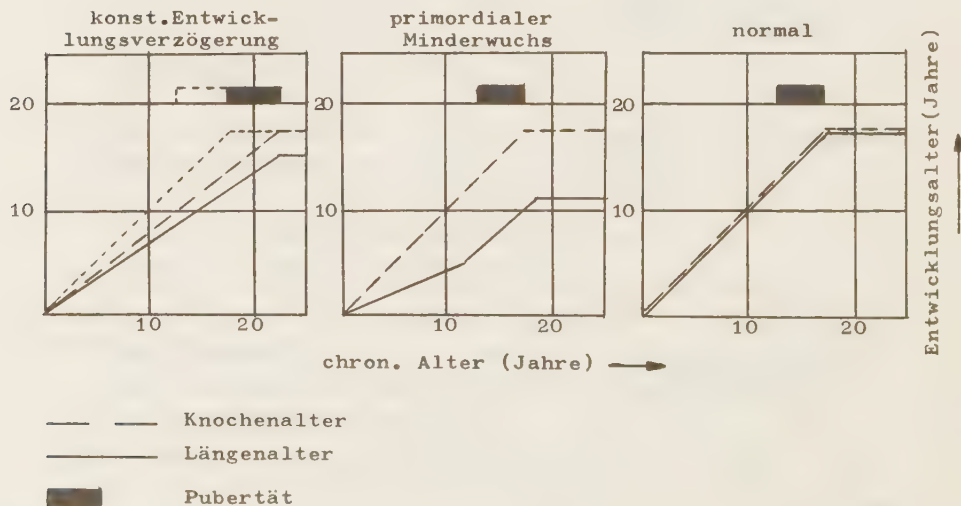
- | | |
|--|--|
| A) <u>Knochenerkrankungen</u> | (Chondropathien, z.B. Rachitis) |
| B) <u>System- und Stoffwechselkrankungen</u> | (Gehirn-, Nieren-, Herz-, Lungen-, Darm- und Blutkrankheiten, erbliche Stoffwechselkrankheiten, chron. Infektionskrankheiten) |
| C) <u>Endokrine Erkrankungen</u> | (Hypothyreose, Hypophysenvorderlappeninsuffizienz, Cushing-Syndrom, sowie auf die Endgröße bezogen: Pubertas praecox und Pseudopubertas praecox) |
| D) <u>Scheinbar endokrine Erkrankungen</u> | (konstitutionelle Entwicklungsverzögerung, primordialer oder genetischer Minderwuchs, Gonadenaplasie [Turner-Syndrom]) |

Knorr (34) nennt als mögliche Ursache noch die Spätpubertät.

Bis auf eine Unterscheidung der beiden Formen der konstitutionellen Entwicklungsverzögerung und des primordialen, genetischen oder konstitutionellen Minderwuchses untereinander ist eine sichere Abgrenzung aller anderen Formen gegeneinander und auch den beiden eben genannten Formen gegenüber durch klinische und labortechnische Untersuchungen möglich.

Unterschiede zwischen konstitutioneller Entwicklungsverzögerung und konstitutionellem Minderwuchs ergeben sich bei longitudinalen Untersuchungen. Ein Hauptmerkmal beider Ausprägungen des Minderwuchses ist, daß sie medikamentös nicht beeinflusst werden können, d.h., daß lediglich eine rein symptomatische Therapie möglich ist.

Aus der Übersicht von Prader (40) sind die beiden Darstellungen der konstitutionellen Entwicklungsverzögerung und des primordialen Minderwuchses entnommen:



Eine Unterscheidung ist nach Prader (40) auf Grund des Knochenalters zu treffen. Das Kind mit konstitutioneller Entwicklungsverzögerung ist in seiner gesamten körperlichen Reife und damit auch in der Knochenreife harmonisch zurückgeblieben. Es erreicht den Reifezustand später als seine Altersgenossen, also kalendermäßig erst in seinem Erwachsenenalter. Nach Teller (64) sind bei konstitutioneller Entwicklungsverzögerung Knochenkernentwicklung und Pubertät im Schnitt 2 - 4 Jahre hinter dem chronologischen Alter zurück. Normale Erwachsenengröße kann unter Umständen erreicht werden, jedoch verzögert bis zum 20. - 23. Lebensjahr.

Generell kann gesagt werden, daß bei der konstitutionellen Entwicklungsverzögerung das Längenwachstum und die Entwicklung des Skelettsystems im Vergleich zum Kalenderalter harmonisch, d.h. gleichermaßen retardiert, verlaufen, während beim konstitutionellen Minderwuchs eine mit zunehmendem Alter sich verstärkende Divergenz zwischen verzögertem Längenwachstum und normalem oder nur unbedeutend retardiertem Knochenalter kennzeichnend ist. Die normale Erwachsenengröße wird hier nicht erreicht.

Die Unterscheidung auf Grund der Knochenreife ist insofern schwierig, als die Festlegung der physiologischen Grenzen nach der Umfrage von House (33) nicht einheitlich erfolgt und die Meinungen sehr stark auseinandergehen.

Nachfolgende Übersicht gibt einen Überblick über die verschiedenen Merkmale, die zur Unterscheidung der beiden zur Diskussion stehenden Formen des nicht von Störungen im endokrinen System verursachten Minderwuchses dienen können.

	Grad des Minderwuchses	Geburtsgewicht	familiäres Auftreten	Knochenentwicklung	Körperproportionen	Beginn d. Pubertät	Endgröße
konstitut. Entwickl.-verzögerung.	+	normal	+	leicht bis stark retardiert	normal	verzögert	kann normal sein
konstitut. Minderw.	+ bis +++	niedrig	+	normal oder nur unbedeutend retardiert	normal	normal	zu klein

Aus der obigen Übersicht kann man entnehmen, daß Anhaltspunkte durch Geburtsgewicht, Zeitpunkt der Geschlechtsreife und Erwachsenengröße gegeben sind. Für die Zeiträume dazwischen stehen keine eindeutigen Beurteilungskriterien zur Verfügung, weshalb auch speziell bei Querschnittsuntersuchungen eine Abgrenzung der beiden in der Übersicht aufgeführten Formen des nicht endokrin verursachten Minderwuchses oft nicht möglich ist.

EIGENE UNTERSUCHUNGEN

Patientengut

Bei dem dieser Untersuchung zugrunde liegenden Patientengut handelt es sich um minderwüchsige Kinder. Für diese Arbeit wurden nur Kinder mit Körperlängen kleiner als P_3 ausgewählt. Nach der im vorangegangenen Abschnitt erläuterten Definition ist P_3 als obere Grenze des Minderwuchses festgelegt, wobei P_3 eine sichere Abgrenzung gegenüber normalwüchsigen Kindern darstellt.

Da es sich hier um eine Querschnittsuntersuchung ohne Verläufe und ohne Kenntnis der Endgröße handelt, kann nur festgestellt werden, daß eine Minderwuchsform vorliegt, die nicht von Störungen im endokrinen System verursacht wurde. Es läßt sich nichts darüber aussagen, ob im Einzelfall eine konstitutionelle Entwicklungsverzögerung oder ein konstitutioneller Minderwuchs vorliegt. Es muß angenommen werden, daß das Patientengut eine Mischung aus beiden Formen darstellt. Lediglich eine Abgrenzung gegen alle anderen Arten des Minderwuchses ist möglich.

Das Untersuchungsgut bestand aus 519 Kindern, 320 Knaben und 199 Mädchen.

In der vorliegenden Arbeit wurden nur linke Hände zur statistischen Auswertung herangezogen, da nur 22 Aufnahmen von rechten Händen vorhanden waren und diese geringe Anzahl im Vergleich zu 497 linken Händen für einen Rechts-Links-Vergleich zu klein ist. Es wurden daher weder Vergleiche zwischen rechten und linken Händen angestellt noch wurden die Methoden an Hand der Aufnahmen rechter Hände miteinander verglichen.

Das Knochenalter wurde bei Knaben und Mädchen jeweils getrennt bestimmt, der Vergleich der Methoden selbst erfolgte für Knaben und Mädchen gemeinsam.

Durch einen getrennten Methodenvergleich bei Knaben und Mädchen wäre durch die Aufteilung des Patientenmaterials insbesondere die Zahl der Mädchen mit 199 Aufnahmen zu klein geworden. Der zweite wesentliche Grund war der, daß bei der zu erwartenden Retardierung des Knochenalters, die zu einer Reduktion der auch normalerweise schon geringen Anzahl besonders spät(Ulnaepiphyse, Naviculare) bzw. sehr unregelmäßig erscheinender (Triquetrum) Knochenkerne führen muß, deren Anzahl durch eine Aufspaltung in Knaben und Mädchen nochmals verringert worden wäre.

Die graphische Darstellung von Länge und Gewicht im Vergleich zu "Normalmaßen des Wachstumsalters" nach Stuart und Stevenson (57) zeigen Abbildung 1 und 2.

Die Auftragung erfolgte in Abhängigkeit vom Kalenderal-

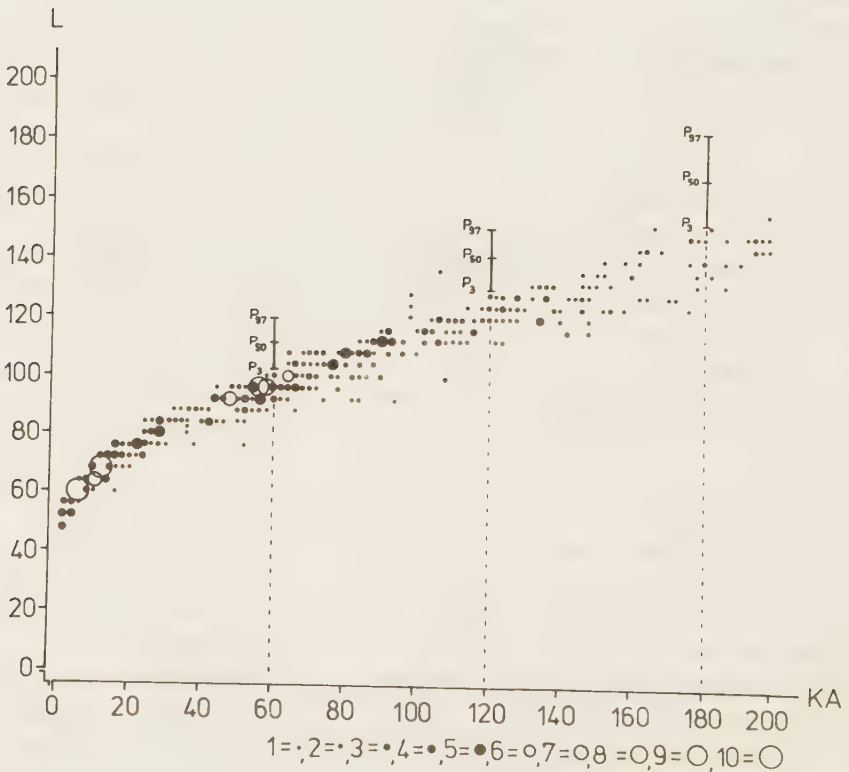


Abb. 1 : Somatogramm
Körperlänge (cm) - Kalenderalter (Monate);
Percentilewerte P_3, P_{50}, P_{97} nach Stuart und
Stevenson in Nelson (57)
97,8 % der Kinder sind kleiner als P_3 .

ter. Im Diagramm Länge - Kalenderalter wurden 502 Fälle übertragen, im Diagramm Gewicht - Kalenderalter waren es 499. Die Differenz von einmal 17 und einmal 20 Fällen zur Gesamtzahl von 519 Fällen ergibt sich dadurch, daß auf

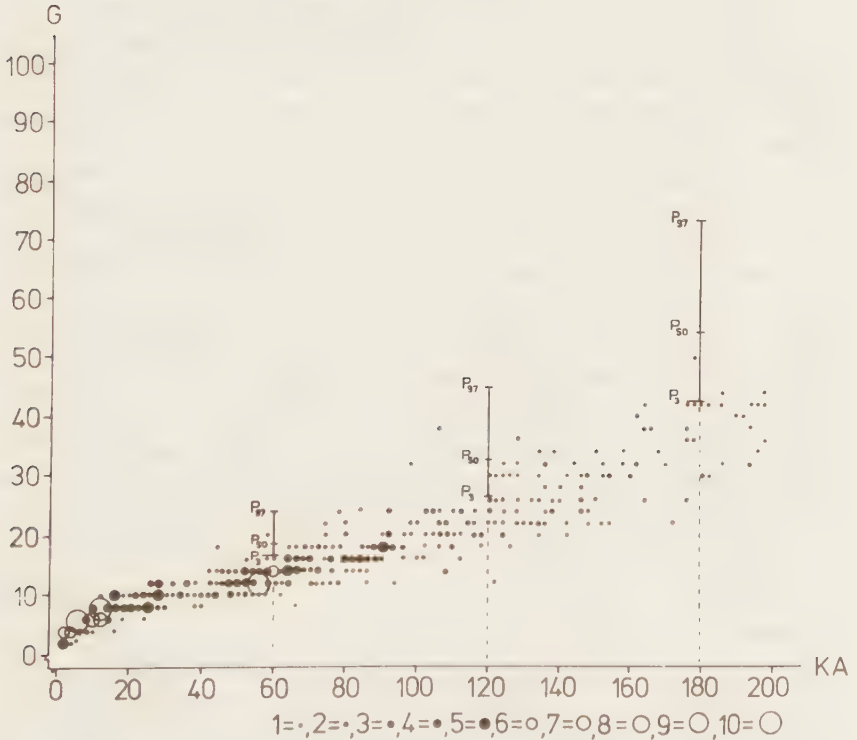


Abb. 2 : Somatogramm
Körpergewicht (kg) - Kalenderalter (Monate);
Perzentilewerte P_3, P_{50}, P_{97} nach Stuart und
Stevenson in Nelson (57)
94,8 % der Kinder liegen unterhalb P_3

17 bzw. 20 Stammkarteikarten der untersuchten Kinder Länge und Gewicht nicht eingetragen waren. Als Vergleich zu den einzelnen Längen- und Gewichtswerten sind jeweils eingezeichnet die zum Kalenderalter 60, 120 und 180 Monate zugehörigen Percentilewerte P_3 , P_{50} und P_{97} , entnommen aus den Tabellen für die Normalmaße des Wachstumsalters von der Geburt bis zum Alter von 18 Jahren nach Stuart und Stevenson (57). Die Percentilewerte wurden zwischen Knaben und Mädchen gemittelt, um ein Maß der Darstellung auch ohne Trennung in Knaben und Mädchen erreichen zu können. Würde man nur die Percentilewerte der Knaben als Klassifikationsmaßstab verwenden, würden z.B. knapp über dem P_3 -Wert für Mädchen liegende Längenwerte von Mädchen evtl. unter den als Maßstab angelegten, eingetragenen P_3 -Wert fallen. Das Umgekehrte wäre für Knaben bei alleiniger Verwendung der weiblichen P_3 -Werte der Fall. Da im Vergleich zum gesamten Material nur sehr wenige Fälle in diesem Grenzbereich liegen, scheint uns diese annäherungsweise richtige Lösung praktikabel.

Die in unserem Fall interessante 3. Percentile wurde aus Gründen der Übersichtlichkeit nicht eingezeichnet, zahlenmäßig sind bei entsprechender Betrachtung der beiden Verteilungen von Länge und Gewicht folgende Merkmale festzuhalten:

Längenverteilung (Abb. 1)

Im Bereich 0 - 60 Monate fallen alle Längenwerte unter P_3 , im Abschnitt 60 - 120 Monate liegen 10 Werte über P_3 , jenseits von 120 Monaten ist 1 Wert größer als P_3 .

Die über P_3 liegenden Werte kommen dadurch zustande, daß hier Kinder mit erfaßt wurden, die ursprünglich wegen eines Minderwuchses zur Knochenalterbestimmung vorgestellt wurden, deren Körperlängen aber tatsächlich über P_3 liegen.

Gewichtsverteilung (Abb.2)

Kinder im Untersuchungsgut mit einem Körpergewicht größer als P_3 finden sich von 0 - 60 Monate 2, im Abschnitt 60 - 120 Monate 9 und im Bereich ab 120 Monaten 15.

Tabelle 1 gibt die absoluten Zahlenwerte und die entsprechenden Prozentwerte, bezogen auf die Gesamtzahl der Fälle, für Körperlänge und Körpergewicht wieder.

Tab. 1

Länge - Kalenderalter

502 Fälle eingelesen

	Alter in Monaten	Anzahl der Fälle	prozentualer Anteil am Gesamt - material	Gesamtzahl
$>P_3$	0 - 60	0	0 %	$>P_3$: 2,2 %
	60 - 120	10	2 %	$<P_3$: 97,8 %
	120 - 180	1	0,2 %	

Gewicht - Kalenderalter

499 Fälle eingelesen

	Alter in Monaten	Anzahl der Fälle	prozentualer Anteil am Gesamt - material	Gesamtzahl
$>P_3$	0 - 60	2	0,4 %	$>P_3$: 5,2 %
	60 - 120	9	1,8 %	$<P_3$: 94,8 %
	120 - 180	15	3,0 %	

Die zunehmende Streubreite der Parameter Körperlänge und Körpergewicht während des sog. adolescent spurt, dem unmittelbar präpubertären Wachstumsschub, wie er bei normalwüchsigen Kindern zu beobachten ist, deutet sich auch hier an. Trotz abnehmender Dichte der Verteilung im Bereich des Endalters ist eine zunehmende Streuung, d.h. eine wachsende Differenz zwischen kleinsten und größten Werten zu beobachten.

Die Verteilung des Lebensalters ist aus Abbildung 3 ersichtlich. Sie zeigt die prozentuale Besetzung der ein-

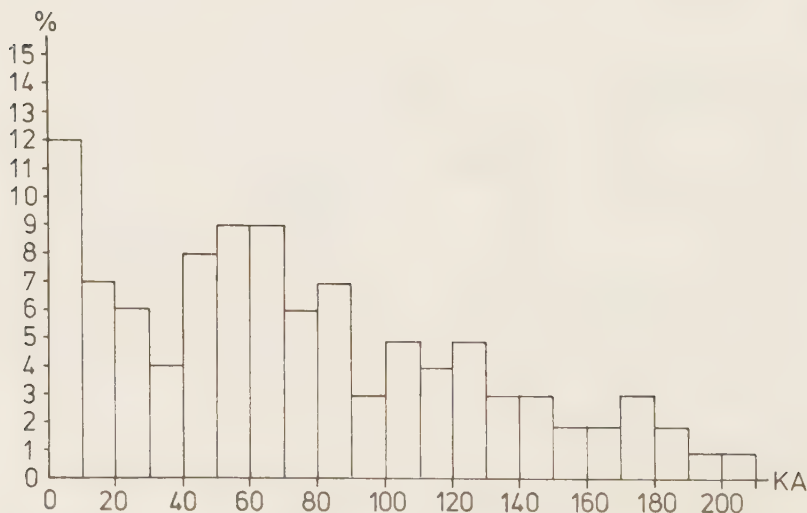


Abb. 3 : Häufigkeitsverteilung des Kalenderalters, Klassenbreite 10 Monate

Die Verteilung zeigt eine deutliche Linksverschiebung, d.h. eine Häufung kleiner Kalenderalter.

zernen Altersklassen, aufgeteilt in 10-er-Klassen von der Geburt bis zum Alter von 210 Monaten.

Die stärkste Besetzung weist die Klasse 0 - 10 Monate mit 12% auf, was einem absoluten Wert von 62 Kindern entspricht. Bis zum Alter von 40 Monaten sinkt die Klassenbesetzung über 7% und 6% auf 4% ab und erreicht in den Altersklassen zwischen 40 und 70 Monaten Werte von 8% und zweimal 9%. Dann erfolgt eine ziemlich kontinuierliche Abnahme der Besetzungszahlen bis zum kleinsten Wert von 1% innerhalb der Klassen 190 - 200 Monate und 200 - 210 Monate.

METHODENDARSTELLUNG

Methode nach Greulich-Pyle

Die Methode nach Greulich-Pyle wird als morphologische Methode bezeichnet. Bei der Auswertung des Untersuchungsmaterials verwendeten wir die 1959 erschienene Ausgabe des Atlases von Greulich-Pyle (29), eine Weiterführung der Methode von 1950 (28). Das Knochenalter der Kinder wurde nach der bone-by-bone Methode (bone-specific-bone-age assessment) bestimmt, die im Atlas neben der Atlasmethode angegeben ist. Es werden nach diesem sog. bone-by-bone bone-age-assessment alle Knochenkerne der Hand getrennt bewertet, wobei jedem einzelnen Kern ein bestimmtes Knochenalter zugeordnet wird.

Ebenso wie in der anschließend zu erwähnenden Methode nach Tanner-Whitehouse werden für jeden Knochenkern bestimmte charakteristische Stufen in Bezug auf Form und Größe im Verlaufe der Knochenkernentwicklung der Hand herausgegriffen. Diese Stufen werden als Reifeindikatoren bezeichnet.

Greulich-Pyle verwenden folgende Knochenkerne, deren Abkürzungen, wie sie von uns gebraucht wurden und auch in den Karteikarten zur Dokumentation eingetragen sind, in Klammern hinter dem jeweiligen Knochen angegeben sind. Die Reihenfolge entspricht der bone-by-bone Methode im Atlas.

Distale Radiusepiphyse (Repi)	Lunatum (Luna)
Distale Ulnaepiphyse (Ulnepi)	Naviculare (Navi)
Capitatum (Capi)	Metacarpale 1 (Depi)
Hamatum (Hama)	Multangulum majus (Muma)
Triquetrum (Tri)	(Trapezium)
Pisiforme (Pisi)	Multangulum minus (Mumi)
	(Trapezoid)

Metacarpale	2,3,4	(Meta 2,3,4)
Metacarpale	5	(Meta 5)
Phalanx proximalis	1	(Baso 1)
Phalanx proximalis	2,3,4	(Baso 2,3,4)
Phalanx proximalis	5	(Baso 5)
Phalanx media	2,3,4,5	(Meso 2,3,4,5)
Phalanx distalis	1	(Tele 1)
Phalanx distalis	2,3,4,5	(Tele 2,3,4,5)

Vor dem Erscheinen des Trapezoid-Ossifikationszentrums sind 3 Stufen (stages) an Hand des proximalen Endes von Metacarpale 2 angegeben, erst Stufe IV kennzeichnet den Ossifikationsbeginn.

Meta 2 wird entweder mit den gleichen oder aber kleineren Standards versehen wie Meta 3 und Meta 4, Meta 5 wird getrennt behandelt. Seine Reifeindikatoren entsprechen Standards, die gleich oder größer sind als Meta 3 und 4.

Die Reifeindikatoren sind bei Baso 2, 3 und 4 dieselben,

Baso 1 und 5 haben bis auf wenige, die übereinstimmen, abweichende Reifeindikatoren mit eigenen Charakteristika der Formentwicklung.

Die Reifeindikatoren von Tele 1 und Tele 2,3 und 4 sind größtenteils verschieden, ebenso Tele 5.

Pro Knochenkern werden unterschiedliche Anzahlen von Indikatoren verwendet.

Repi und Ulnepi haben jeweils 11, Capi, Hama, Mumi, Baso 1 und Tele 2,3,4,5 haben 10, Muma, Depi, Meta 2,3,4,5, Baso 2,3,4,5, Meso 2,3,4,5 und Tele 1 haben 9, Tri, Pisi, Luna und Navi 8 Reifeindikatoren.

Im Atlas sind die Reifeindikatoren, die man auch als Momentaufnahme der vorliegenden Entwicklungsphase bezeichnen kann, in obengenannter Reihenfolge in Skizzenform bildlich dargestellt. Mögliche Formänderungen der Knochenkerne im Zeitraum zwischen den angegebenen Reifestufen werden nicht berücksichtigt. Der bildlichen Darstellung steht ein beschreibender Text zur Seite, der die Hauptmerkmale des Knochenkerns in der abgebildeten Stufe charakterisiert. Stufe II (stage II) in der Entwicklung der Radiusepiphyse wird gekennzeichnet durch das erstmalige Auftreten des Ossifikationszentrums, im Röntgenbild mehr oder weniger nur als radioopaker Punkt distal des Radiuschaftes auszumachen.

II

The initial small ossification center for the epiphysis forms slightly nearer the lateral than the medial border of the distal margin of the shaft.



Male Standards 5 and 6

Female Standards 4 and 5

Im Text dazu wird angegeben, daß dieses initiale Zentrum

näher der lateralen als der medialen Randbegrenzung der distalen Schaftfläche liegt. Dem als Beispiel beschriebenen Indikator sind nun Standards, d.h. Zahlenwerte, zugeordnet, und zwar jeweils zwei für Knaben (5 und 6) und zwei für Mädchen (4 und 5). Der männliche Standard 6 und der weibliche Standard 4 sind in diesem Fall fettgedruckt und damit zur Annahme empfohlen. An Hand einer Tabelle, in der den Standards, die Werte von 1 - 31 annehmen können, wiederum getrennt nach Geschlechtern bestimmte Alterswerte in Monaten zugeordnet sind, wird für jeden Knochenkern ein zugehöriges Knochenalter in Monaten ermittelt. Die Beziehung Standard - Alter ist unabhängig von der Art des Knochens. Nehmen z.B. Capi, Luna, Meso 2,3 etc. im Röntgenbild der Hand eines Knaben Standard 16 an, so wird jedem Knochen das Alter 84 Monate beigemessen. Die Erwachsenenwerte bzw. Endwerte des Knochenalters werden für Mädchen mit 18 Jahren, für Knaben mit 19 Jahren angegeben.

Mit Ausnahme der Stufe I bei Repi, Ulnepi, Depi, Meta 2 und 5, Baso 1 - 5, Meso 2 - 5 und Tele 1 - 5, die hier nur Standard 1 sowohl für Knaben als auch für Mädchen annehmen kann, sind für jeden Reifeindikator pro Geschlecht zwei Standards angegeben. Wenn ein Standard fettgedruckt war, wurde dieser verwendet, sonst wurde von uns immer der größere der beiden Werte übernommen.

Die Abbildung 4 zeigt die Röntgenaufnahme der linken Hand eines 6 Jahre 5 Monate alten Mädchens. Die mit Pfeil (▼) gekennzeichnete fettgedruckte Spalte enthält für jeden Knochenkern die zwei möglichen Alterswerte in Monaten, die sich aus den beiden von Greulich-Pyle für diese Entwicklungsstufe im Atlas zur Auswahl angegebenen Standards ergeben.

Die Spalten unter -1 und +1 geben die jeweils nächstniedri-

geren bzw. nächsthöheren Entwicklungsstufen in Monaten an. Proxi I, II, III, IV und V sind identisch mit den weiter oben genannten Abkürzungen Baso 1, 2, 3, 4 und 5 für Phalanx proximalis 1, 2, 3, 4 und 5.

	-1	▼	+1
• TELE II	60-69	69-82	106-120
• TELE III	50-60	50-60	106-120
• TELE IV	50-60	50-60	106-120
• TELE V	60-69	69-82	106-120
• MESO II	42-50	94-106	132-144
• MESO III	42-50	94-106	120-132
• MESO IV	42-50	94-106	120-132
• MESO V	60-69	106-120	120-132
• PROXI I	30-36	94-106	106-120
• PROXI II	30-36	94-106	120-132
• PROXI III	30-36	106-120	120-132
• PROXI IV	30-36	94-106	120-132
• PROXI V	30-36	94-106	120-132
• META II	36-42	94-106	120-132
• META III	36-42	94-106	120-132
• META IV	50-60	94-106	120-132
• META V	24-30	50-60	106-120

Monika H. 77/12

Karpomorphisches Knochenalter
nach GREULICH u PYLE



	-1	▼	+1
CAP I	25-42	94-106	120-132
HAMA	30-36	69-82	120-132
REP I	42-48	60-69	120-132
TR I	60-69	82-94	94-106
DEPI	82-94	106-120	120-132
LUNA	50-60	69-82	106-120
MUMA	69-82	94-106	132-144
MUMI	69-82	82-94	120-132
NAVI	50-60	60-69	82-94
ULNEPI	82-94	94-106	120-132
PISI	-	106-120	132-144

Abb. 4 : Röntgenbild der Hand eines 6 Jahre 5 Monate alten Mädchens

Verteilungsmuster der Knochenalter der Einzelknochen mit jeweils der nächstniedrigeren und nächsthöheren Entwicklungsstufe

Unterstrichene Monatsangaben sind im Atlas von Greulich-Pyle fettgedruckt und damit zur Annahme empfohlen.

Mit Punkt versehene Knochenkerne haben nach Garn et al. (14) den höchsten "intercom - munality value".

In Abbildung 5 sind die einzelnen Entwicklungsstufen von Capi und Hama mit den jeweiligen Knochenalterwerten in

Monaten für Knaben und Mädchen zusammengefaßt.

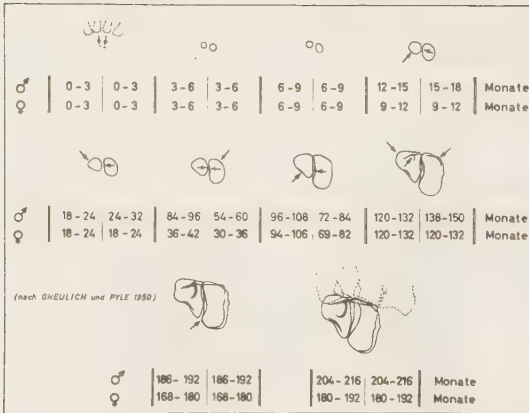


Abb. 5 : Entwicklungsstufen von Capitatum und Hamatum mit zugehörigem Knochenalter

Alle ermittelten Standards einer Hand wurden zusammengestellt. Pro Hand wurde eine Karte angelegt mit zusätzlichen Vermerken wie Kalenderalter, Längenalter, Gewichts- alter, Länge und Gewicht sowie kleinstem und größtem vor- kommenden Knochenalterwert.

Zur Ermittlung des Gesamtknochenalters einer Hand wurde aus den Einzelknochenaltern an Stelle des Mittelwertes der sog. Zentral- oder Medianwert bestimmt. Dies geschah auf Grund folgender Überlegungen:

1. Es konnte nicht mit Normalverteilungen oder symmetri- schen Verteilungen gerechnet werden, vielmehr war eine schiefe Verteilung der jeweils ermittelten Ein-

zelknochenalter einer Hand zu erwarten. Nach Campbell (6) und Sachs (51) ist der Mittelwert bei schiefen Verteilungen deshalb unbefriedigend, weil er ziemlich weit von den Werten größter Häufigkeitskonzentration entfernt ist.

2. Die Auswertung der Röntgenbilder führt zu einer stufenförmigen, diskontinuierlichen Verteilung der Standards und somit der Einzelknochenalter, was eine Mittelwertbildung nicht zuläßt.
3. Die Methode nimmt keine Wichtung der einzelnen Ereignisse, d.h. der Stufen, vor. Man kann also nicht sagen, daß diese gleichwertig seien noch in irgend einem anderen festgelegten Wertverhältnis zueinander stünden.

Ordnet man die Meßwerte der Größe nach, so ist der Zentralwert der mittlere Wert. Man erfaßt so bei der Knochenkernentwicklung der Hand den Bereich der häufigsten Ereignisse. Dieser Zentralwert wurde beim kleinsten und größten Knochenalterswert mit eingetragen und bei dem mit der Methode nach Tanner-Whitehouse angestellten Vergleich als repräsentativer Wert des Knochenalters einer Hand verwendet.

Schwierigkeiten bestanden dann, wenn eine Reifungsasynchronie vorlag, d.h. wenn bei einer Hand ein einzelner oder mehrere Knochenkerne noch nicht vorhanden waren, obwohl sie nach dem Stand der Entwicklung der übrigen Hand längst hätten erschienen sein müssen. Hätten wir diese Kerne nicht berücksichtigt, wäre der Zentralwert zu hoch gewesen.

Wir haben dieses Problem gelöst, indem wir in diesen Fällen den entsprechenden Standard für den Schritt der Calcifizierung übernahmen und bei der Bestimmung des Zentralwertes berücksichtigten. Es ergab sich so ein zweiter korrigierter Zentralwert, der etwas niedriger lag. Voraussetzung

zung war allerdings, daß der kleinste Standard der noch nicht erschienenen Knochenkerne kleiner war als der nur an Hand der erschienenen Kerne ermittelte Zentralwert.

Methode nach Tanner-Whitehouse

Von uns wurde die Methode nach Tanner-Whitehouse (T.W.I) aus dem Jahr 1962 (59) verwendet, die inzwischen durch die Methode nach Tanner-Whitehouse (T.W.II) von 1972 (60) ergänzt und verbessert wurde.

Die Knochenkerne werden in der Reihenfolge Radius, Ulna, Meta 1, 3, 5, Baso 1, 3, 5, Meso 3, 5 und Tele 1, 3, 5 sowie Capi, Hama, Tri, Luna, Navi, Muma und Mumi behandelt. Die Abkürzungen der einzelnen Knochen entsprechen denen, die bei der Beschreibung der Methode Greulich-Pyle angegeben sind.

Auf Doppelseiten sind wie bei Greulich-Pyle die in Skizzenform dargestellten Entwicklungsstufen jedes einzelnen Knochens mit dem erläuternden Text kombiniert.

Es wird in der Anleitung ausdrücklich betont, daß die Illustration den Text nur unterstreichen soll und nie als alleiniger Anhaltspunkt dienen darf.

Die Stufen sind unterteilt von A - I, mit Ausnahme der Radius-epiphyse, wo noch die Stufe J hinzukommt. Jede Stufe ist beschrieben mit ein, zwei oder drei charakteristischen Kriterien, die mit i, ii, iii bezeichnet sind. Ist nur ein Merkmal vorhanden (i), so muß dieses im Röntgenbild vertreten sein, damit ausgesagt werden kann, daß der Knochenkern diese Stufe erreicht hat. Sind zwei Kriterien angegeben (i und ii), muß eines im Röntgenbild vorhanden sein, bei drei Kriterien (i, ii und iii) müssen es zwei sein. Jeder Stufe ist ein sog. Score zugeordnet, und zwar sind

dies für jeden Knochen unterschiedliche Zahlenwerte. So entspricht z.B. der Stufe C bei Repi Score 2, bei Ulnepi Score 25, bei Baso 1 Score 3 usw.

Tanner-Whitehouse machen auf Grund biologischer Gegebenheiten folgende Annahmen:

1. Es besteht eine Wahrscheinlichkeit, daß "round bones" und "long bones" zu bestimmten Zeiten von verschiedenen Faktoren gesteuert werden.
2. Eine einfache Durchschnittsberechnung aller Knochen würde zu einer Überbewertung der Metacarpalia und Phalangen führen, da diese in ihrer Entwicklung eng miteinander verknüpft und in der Mehrzahl sind.
Um unnötigen Arbeitsaufwand zu vermeiden, speziell beim Gebrauch in Kliniken, wurden der zweite und der vierte Finger weggelassen. Die Gesamtknochenzahl beträgt daher nur 20 im Vergleich zu 29 bei Greulich - Pyle.
3. Weiter wurde willkürlich angenommen, daß ein Finger den gleichen Aussagewert besitzt wie Radius oder Ulna. Es kommt so eine Wichtung der Einzelknochen zustande, in der Radius und Ulna je 20% Repräsentationswert, der 1., 3. und 5. Finger jeweils als Ganzes 20% erhalten. In Bezug auf die ganze Hand erhält jede der eben genannten Einheiten je 10% an Wert, jeder Handwurzelknochen 7%.
Diese Wertbegrenzung ist bei der Festlegung der Scores berücksichtigt und in diese integriert worden.

Aus der Summe aller Score - Werte der einzelnen Knochen einer Hand kann aus Tabellen das zugehörige Gesamtknochenalter der Hand abgelesen werden. Im Gegensatz zu Greulich-Pyle werden keine Einzelknochenalter angegeben.

Das Erwachsenenalter liegt für Mädchen bei 17 Jahren und

für Knaben bei 19 Jahren.

Im Anschluß an die Score - Alter - Tabellen sind Perzentilekurven des Knochenalters für Knaben und Mädchen getrennt und für beide Geschlechter gemeinsam angegeben.

Es sind die Score - Summenwerte in Abhängigkeit vom Kalenderalter dargestellt für P_5 , P_{10} , P_{50} , P_{75} und P_{90} .

Es wird angegeben, daß die entsprechenden Kurven, ermittelt aus 28 Knochen der Hand (ohne Pisiforme) für P_5 , P_{10} , P_{50} , P_{75} und P_{90} nur geringfügig von den aus 20 Knochen gewonnenen abweichen und daß die beiden P_{50} - Kurven identisch sind.

ERGEBNISSE

Obwohl gegen den Begriff des Längenalters und des Gewichtsalters vom bio-statistischen Standpunkt aus berechnete Einwände gemacht werden, ist der Gebrauch dieser Begriffe für den Kliniker nützlich, vor allem wenn er Körperlänge und -gewicht mit anderen Entwicklungsdaten direkt vergleichen will. Aus diesen Gründen wurden die beiden Begriffe mit in diese Arbeit einbezogen.

Die Methode der Längenalterbestimmung ermöglicht es, in der Praxis auf relativ einfache Weise unter Verwendung von Längenalterstabellen, in denen bestimmten Lebensaltern entsprechende Körperlängen zugeordnet sind, Rückschlüsse auf den körperlichen Entwicklungsstand zu ziehen. Das gleiche gilt für das Gewichtsalter.

Verteilung des Längenalters (Abb. 6)

Abbildung 6 zeigt die Verteilung des Längenalters in Histogrammform. Auf die Darstellung des Gewichtsalters wurde ver-

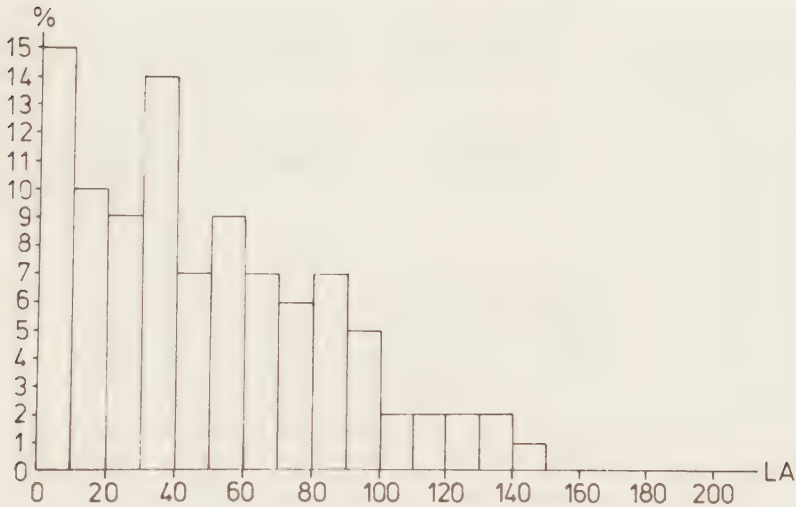


Abb. 6 : Häufigkeitsverteilung des Längenalters, Klassenbreite 10 Monate

Die Verteilung zeigt eine deutliche Linksverschiebung, die wesentlich stärker ausgeprägt ist als beim Kalenderalter.

zichtet, da diesem in dieser Arbeit im Vergleich zum Längenalter weniger Bedeutung zukommt.

Die Werte wurden von den Originalstammkarten der Universitäts - Kinderklinik München übernommen. Es sind nur 468 Daten eingegeben und dargestellt, da auf den restlichen Karten die Körperlänge nicht vermerkt war. Die Verteilung zeigt eine ähnliche positive Schiefe wie die Verteilung des Kalenderalters.

Nach Campbell (6) ist ein Histogramm bzw. eine Verteilung als positiv schief zu bezeichnen, wenn der "längere Schwanz"

rechts von der modalen Klasse, d.h. der Klasse mit der größten Besetzung liegt, als negativ schief, wenn das Umgekehrte der Fall ist.

Im Vergleich zum Kalenderalter zeigt sich eine unterschiedliche Besetzung der Klasse von 30 - 40 Monaten, wo beim Kalenderalter nur ein relativ niedriger Wert von 4% erreicht wird.

In beiden Verteilungen stellen die beiden ersten Klassen auffällige Gipfel dar. Insgesamt liegt beim Längenalter eine stärkere Verschiebung nach links, also zum Nullpunkt hin, vor. Die 2. und 3. Klasse sind mit 10% und 9% beim Längenalter wesentlich höher besetzt als beim Kalenderalter, wo die Werte bei 7% und 6% liegen. Die größten vorkommenden Kalenderalter liegen zwischen 200 und 210 Monaten, während beim Längenalter jenseits des 150. Monats keine Werte mehr anzutreffen sind. Zahlenmäßig zeigt sich diese Verschiebung an Mittelwert und Schiefe, die zusammen mit der Standardabweichung aus Tabelle 2 ersichtlich sind.

Verteilung des Knochenalters

nach Greulich-Pyle und Tanner-Whitehouse (Abb. 7 und 8)

In Abbildung 7 und 8 sind die Knochenalterverteilungen nach den Methoden Greulich-Pyle und Tanner-Whitehouse dargestellt. Bei der Verteilung nach Greulich-Pyle fallen die drei Gipfel in den Klassen 2, 4 und 6 auf, was mit einem relativ häufigen Auftreten der Zentralwerte 12, 15 und 18 von gemeinsam 14% (Klasse 2), des Zentralwertes 36 von 15% und des Zentralwertes 60 von 14% gleichzusetzen ist.

Es wurden demnach 15% aller Kinder nach Greulich-Pyle mit einem Knochenalter von 36 Monaten eingeschätzt, 14% mit

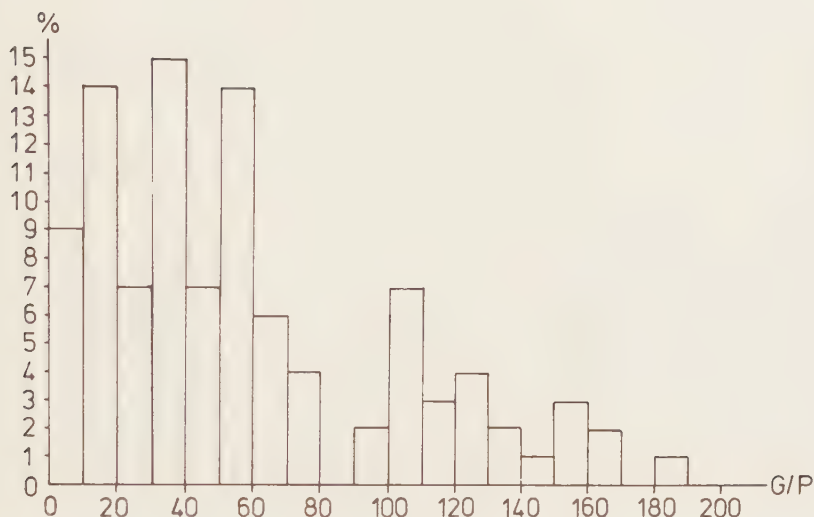


Abb. 7 : Häufigkeitsverteilung des Knochenalters nach Greulich-Pyle

Die Konzentration der Werte nimmt zum Null - punkt hin zu. Auffällige Gipfel weisen die Klassen 10-20, 30-40 und 50-60 Monate auf.

Knochenalter 60 Monate, während das gleiche Kalenderalter nur in 4% bzw. 9% der Fälle vorkam.

Die Schiefe der Verteilung nach Tanner-Whitehouse ist mit der des Kalenderalters zu vergleichen, während die Schiefe der Verteilung nach Greulich-Pyle der von Längenalter und Gewichtsalter ähnlicher ist.

Die Werte für Mittelwert, Standardabweichung und Schiefe der Verteilungen nach Greulich-Pyle und Tanner-Whitehouse sind in Tabelle 2 zusammengestellt.

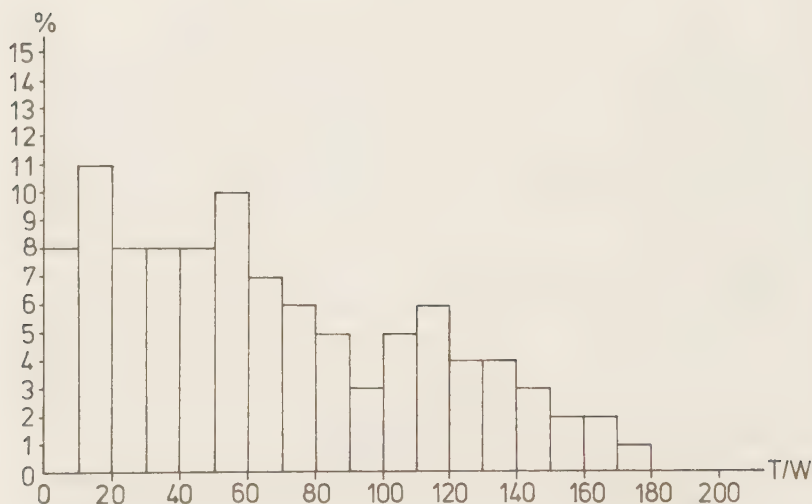


Abb. 8 : Häufigkeitsverteilung des Knochenalters nach Tanner-Whitehouse
Eine Abnahme der Häufigkeit der Knochenalterwerte mit zunehmendem Knochenalter zeigt sich in ähnlicher Weise wie bei Greulich-Pyle. Eine mit der Verteilung nach Greulich-Pyle vergleichbare Ausbildung hoher Gipfel ist nicht vorhanden.

Die Häufung der Werte in den Klassen 2, 4 und 6 bei Greulich-Pyle ist bei Tanner-Whitehouse nicht in dem Maße ausgeprägt. Hier sind nur zwei Spitzenwerte in der 2. und 6. Klasse (10 - 20 und 50 - 60 Monate) zu beobachten. Die dazwischen liegenden Klassen sind mit jeweils 8% gleich stark besetzt. Die Klassen 2 und 6 sind zwar mit 11% und 10% auch bei Tanner-Whitehouse relativ am stärksten vertreten,

jedoch um 3% bzw. 4% weniger als die entsprechenden Klassen bei Greulich-Pyle.

Tab. 2

	Mittelwert	Standard - abweichung	Schiefe
Kalender-A.	79,22	52,38	5,44
Längen-A.	54,89	37,26	8,22
Gewichts-A.	55,02	41,82	9,92
Kno.-A.n.G/P	61,82	42,74	8,99
Kno.-A.n.T/W	71,57	45,30	4,96

Allen dargestellten Verteilungen ist gemeinsam ihre positive Schiefe, d.h. die Häufung des Kalenderalters bzw. der Methodenalter zum Nullpunkt hin.

Beim Kalenderalter liegt dies daran, daß das Patientengut aus mehr jüngeren als älteren Kindern bestand. Die im Vergleich zum Kalenderalter stärker ausgeprägte Schiefe der Knochenalterverteilung nach den beiden Methoden, d.h. die wesentlich deutlichere Häufung kleinerer Knochenalterwerte, rührt daher, daß das Knochenalter gegenüber dem Kalenderalter retardiert ist.

Grob angedeutet erkennt man aus den Abbildungen 3, 6, 7 und 8, daß die Kinder nach den einzelnen Methoden jünger eingeschätzt werden, als sie dem Kalenderalter nach sind, da hier die Konzentration zum Nullpunkt hin stärker ausgeprägt ist als beim Kalenderalter; dies ist eben darin begründet, daß es sich um minderwüchsige Kinder handelt, von denen ein Großteil ein Knochenalter aufwies, das kleiner war als das Kalenderalter. Der Endwert von 210 Monaten wird beim Knochenalter in keinem Fall erreicht, am weitesten da-

von entfernt ist der größte Längenalterwert mit nur 150 Monaten, wo mit 54,89 Monaten auch der kleinste Mittelwert vorliegt, was wiederum definitionsgemäß aus den Besonderheiten des Krankengutes zu erklären ist.

Einzelknochenalter nach

Greulich-Pyle und Tanner-Whitehouse (Abb. 9,10,11,12,13,14)

In den Histogrammen der Abbildungen 9, 10, 11 und 12 sind die Verteilungen der einzelnen Knochenkerne der Hand nach der Methode von Greulich-Pyle dargestellt. Die Abszisse ist unterteilt in die Standards von 1 - 30, die Ordinate gibt die prozentuale Häufigkeit der vorkommenden Standards in Bezug auf die Gesamtzahl der jeweiligen Knochenkernart wieder.

An Hand dieser Darstellungen kann eine grobe Beziehung zwischen der Verteilung der Gesamtknochenalter nach Greulich-Pyle und den entsprechenden Werten für die einzelnen Knochenkerne abgelesen werden. Es kann keine Aussage darüber gemacht werden, welche Korrelation im Einzelfall zwischen Einzelknochenalter und Gesamtknochenalter besteht, da diesbezüglich keine direkten Zahlenvergleiche angestellt wurden.

nach Greulich-Pyle (Abb. 9,10,11,12)

Wie aus Abbildung 9 zu ersehen ist, tragen in den unteren Altersklassen zwischen 0 und 8 Monaten die Knochenkerne Re-
pi, Capi und Hama stark zur Ermittlung des Gesamtknochenalters in dieser Altersgruppe bei. Die Lücke bei Capi von Stan-

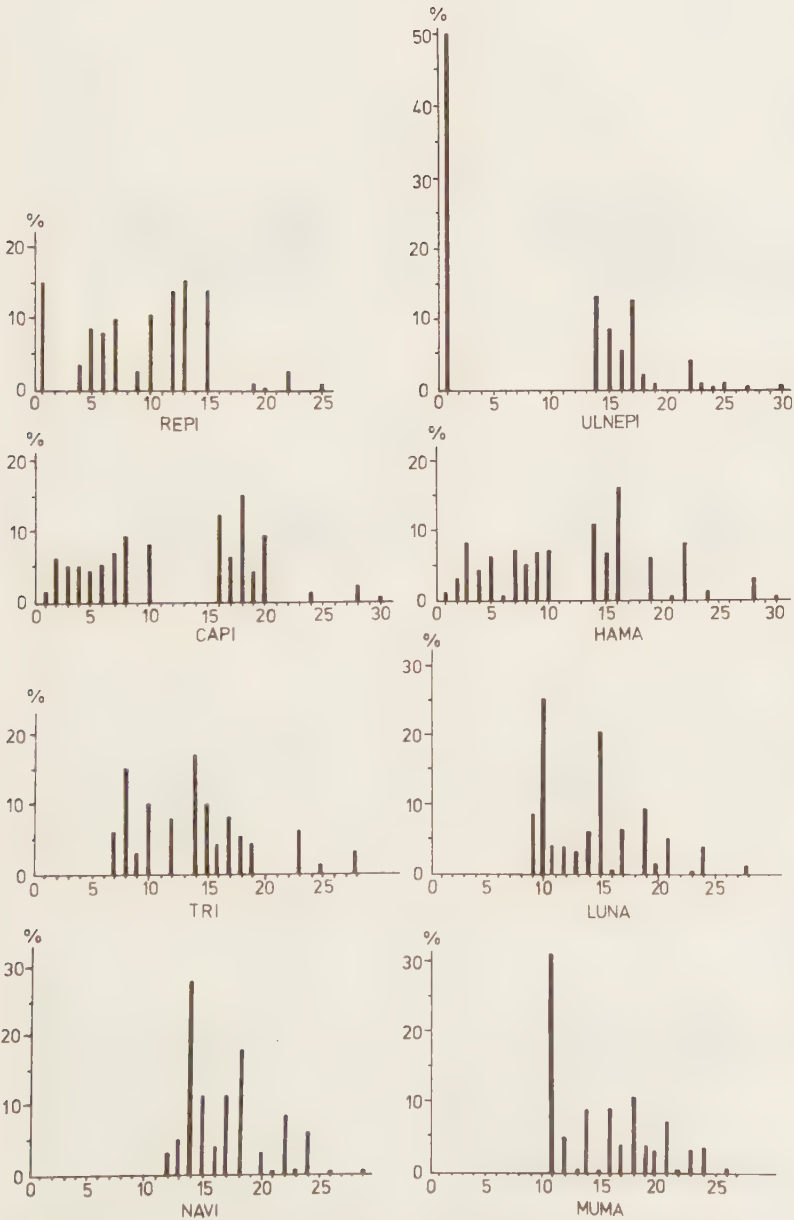


Abb. 9 : Die Verteilungen der Einzelknochenstandards nach Greulich-Pyle für Repi, Ulnepi, Capi, Hama, Tri, Luna, Navi und Muma

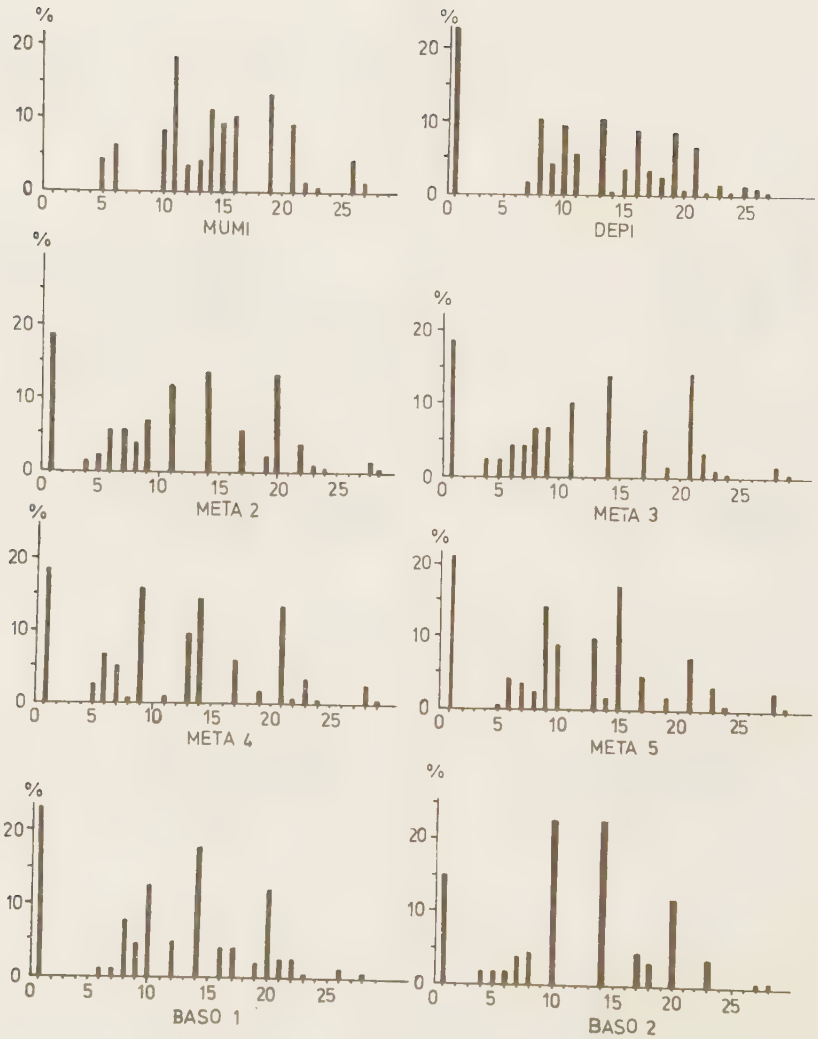


Abb. 10 : Die Verteilungen der Einzelknochenstandards nach Greulich-Pyle für Mumi, Depi, Meta 2, Meta 3, Meta 4, Meta 5, Baso 1 und Baso 2

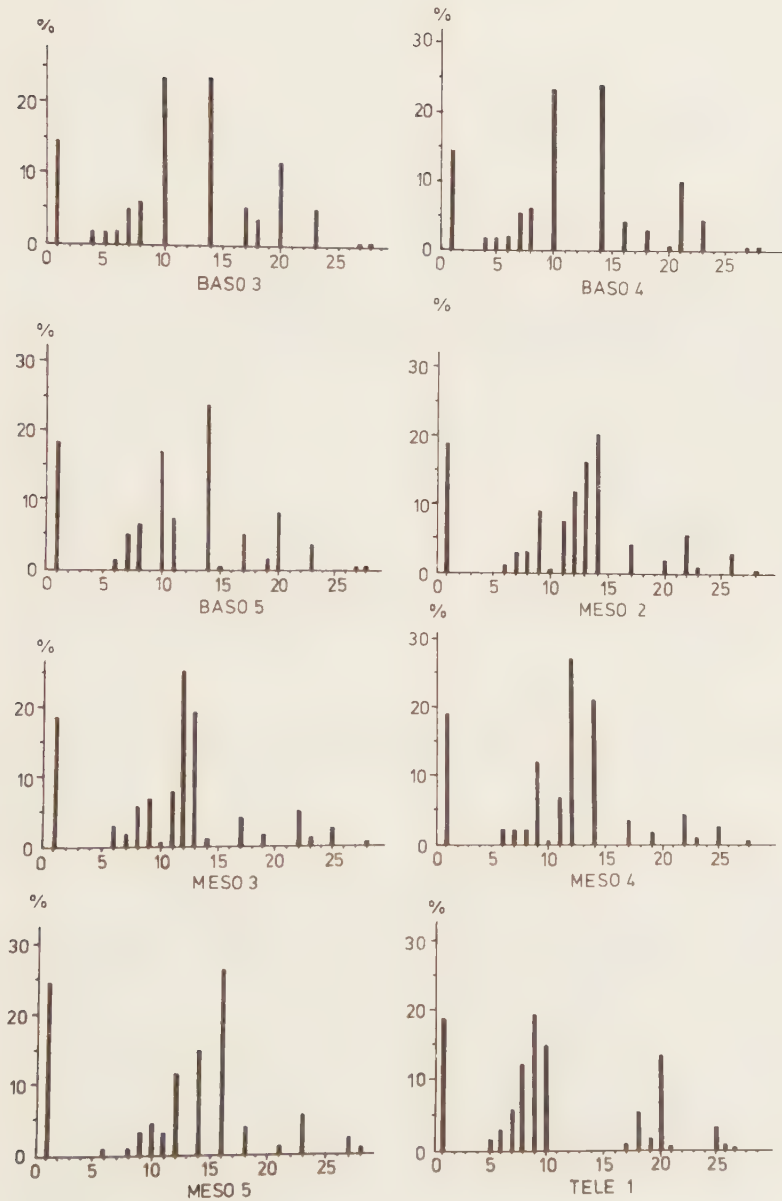


Abb. 11 : Die Verteilungen der Einzelknochenstandards nach Greulich-Pyle für Baso 3, Baso 4, Baso 5, Meso 2, Meso 3, Meso 4, Meso 5 und Tele 1

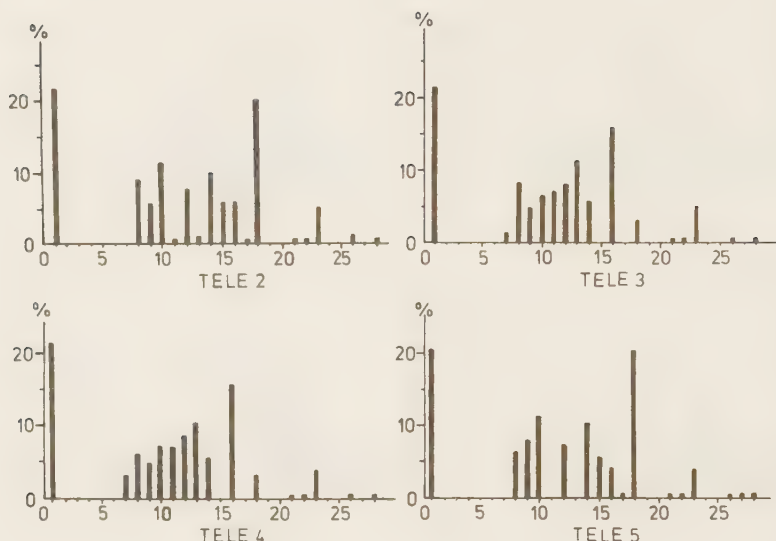


Abb. 12 : Die Verteilungen der Einzelknochenstandards nach Greulich-Pyle für Tele 2, Tele 3, Tele 4 und Tele 5

dard 10 bis Standard 16 ist auf den methodisch bedingten Sprung im Atlas von Greulich-Pyle zurückzuführen, ebenso die Lücke bei Ulnepi von Standard 1 bis Standard 14 und bei Tele 1 von Standard 10 bis Standard 17.

Die in der Gesamtknochenalterverteilung nach Greulich-Pyle auffallende starke Besetzung der Knochenalter 12, 15, 18 sowie 36 und 60 Monate, die den Standrds 5, 6, 7 (♂+♀) (12, 15, 18 Monate) sowie 10 (♂+♀) (36 Monate), bzw. 13 (♀) und 14 (♂) (60 Monate) entspricht, deutet sich auch in etwa bei den Verteilungen der Einzelknochenstandards an.

Diese Ausprägung von Gipfelwerten ist mit eine Folge der stufenförmigen Bewertung der Ossifikationszentren nach der Methode von Greulich-Pyle.

Bei den Carpalia ist speziell in Bezug auf die drei Besetzungsgipfel im Gesamtknochenalter bei 12, 15, 18 sowie 36 und 60 Monaten Folgendes zu beachten:

Standard 10 ist bei Capi nur mäßig ausgeprägt, die Summe der Standards 5, 6 und 7 liegt mit 15% ziemlich hoch. Knochenalter 60 Monate (Standard 13[♀] und 14[♂]) ist nicht vertreten. Bei Hama sind Standard 5, 6 und 7 etwas schwächer repräsentiert, Standard 14 (60 Monate) weist aber dafür die zweithöchste Besetzungshäufigkeit auf. Luna, Navi und Muma tragen zur starken Ausprägung der Klasse 2 in der Gesamtknochenalterverteilung nach Greulich-Pyle nichts bei, nur Mumi durch Standard 5 und 6 mit 11%, Tri durch Standard 7 mit 6%. Hohe Besetzungszahlen zeigen Tri bei Standard 14 und Luna bei Standard 10. Die starke Häufung von Standard 11 (42 Monate) bei Muma läuft der Gesamtknochenalterverteilung nach Greulich-Pyle etwas entgegen.

Bei Tri, Luna, Navi, Muma und Mumi liegt von 0 bis zum jeweils relativ spät erscheinenden ersten Wert eine Lücke vor, da bei diesen Knochenkernen im Atlas keine kleineren Standards angegeben sind. Der Wert 1, der einem Knochenalter 0 entspräche, kann nicht gegeben werden, da dies eine von der Methode unabhängige Annahme wäre. War der Knochenkern nicht erschienen, so konnte keine Angabe gemacht werden, bzw. es wurde so verfahren, wie auf Seite 33/34 beschrieben.

Repi zeigt eine starke Besetzung bei Standard 5, 6 und 7 sowie Standard 13 und sonst ein ausgeglichenes Bild mit geringer Tendenz zu extremen Werten. Im Gegensatz dazu steht Ulnepi, wo ein sehr hoher Wert bei Standard f mit 50% liegt, da das Ossifikationszentrum hier erst sehr spät erscheint.

Abgesehen von Ulnepi, Luna, Navi und Muma wird ab Baso 2 die Tendenz zur Ausbildung vereinzelter, sehr hoher Besetzungszahlen deutlich. Besonders auffällig sind bei Baso 1, 2, 3, 4 und 5 die hohen Werte bei Standard 10 und Standard 14.

Ein Nachteil der Greulich-Pyle'schen Methode ist es, daß sie nicht wichtet, d.h., daß beim gleichen Knochenkern den einzelnen Reifeindikatoren nicht unterschiedliche Aussagekraft, also mehr oder weniger großes Gewicht, das sich in den Zahlenwerten der Standards ausdrücken müßte, beigemessen wird und daß unter den einzelnen Knochenkernen der Hand keine Auswahl getroffen wird, wie dies z.B. in der Methode von Tanner-Whitehouse geschieht.

So sind die eben genannten, in der Ausbildung der Standards fast gleichen Knochenkerne bei der Bestimmung des Gesamtknochenalters insgesamt fünf mal vertreten. Dies führt zu einem Übergewicht dieser Standards bei der Zentralwertbestimmung und verursacht somit die Ausbildung von Gipfelwerten in der Verteilung der Gesamtknochenalter nach Greulich-Pyle.

Standard 14 ist bei Meso 2, 4 und 5 verhältnismäßig stark vertreten, Standard 10 fällt dagegen bei Meso 2, 3, 4 und 5 kaum ins Gewicht. Gipfelwerte sind Standard 12 und 13 bei Meso 3 sowie Standard 9 und 12 bei Meso 4, ebenso Standard 16 bei Meso 5.

Besonders wenig tragen zur Häufung des Gesamtknochenalters in der Klasse 2 aus dieser Knochengruppe Meso 5 und Tele 2, 3, 4 und 5 bei. Als augenfälliges Merkmal, ähnlich den gleichsinnigen Verteilungen bei Baso 2, 3, 4 und 5, sei noch die miteinander verwandt erscheinende Verteilung der Standards von Tele 3 und 4 sowie Tele 2 und 5 genannt. Tele 1 zeigt keine Ähnlichkeit mit den anderen Endphalangen, während bei Tele 3 und 4 die Konzentrierung etwa gleichhoher

Werte zwischen Standard 7 und 14 sowie die Gipfelwerte bei Standard 16 hervorgehoben werden müssen. Tele 2 und 5 zeigen eine ähnliche Gleichsinnigkeit der Häufigkeitsverteilung mit einem Häufigkeitsmaximum bei Standard 18.

Tab. 3 Mittelwert, Standardabweichung und Schiefe der Einzelknochenaltersverteilung nach Greul.-Pyle

	Mittelwert	Standard - abweichung	Schiefe	Anzahl
Repi	10,624	4,393	+ 0,609	492
Ulnepi	15,683	4,471	- 1,369	290
Capi	12,206	6,609	+ 0,077	506
Hama	12,109	6,532	+ 0,274	505
Tri	13,950	5,069	+ 0,692	402
Luna	13,841	4,596	+ 0,724	378
Navi	16,432	3,476	+ 0,834	292
Muma	14,849	4,327	+ 0,628	352
Mumi	14,569	5,117	+ 0,275	400
Depi	14,135	5,002	+ 0,284	397
Meta 2	13,591	6,000	+ 0,362	457
Meta 3	13,838	6,167	+ 0,327	457
Meta 4	14,025	6,003	+ 0,375	448
Meta 5	13,591	5,454	+ 0,695	416
Baso 1	13,935	4,982	+ 0,159	416
Baso 2	13,426	5,068	+ 0,323	455
Baso 3	13,320	5,005	+ 0,381	456
Baso 4	13,393	5,111	+ 0,425	453
Baso 5	13,228	4,451	+ 0,659	421
Meso 2	13,421	4,283	+ 1,167	420
Meso 3	12,859	4,265	+ 1,337	427
Meso 4	13,118	4,216	+ 1,151	424
Meso 5	15,166	4,137	+ 1,009	386
Tele 1	12,006	5,624	+ 0,947	437
Tele 2	13,947	4,647	+ 0,006	399
Tele 3	13,170	4,061	+ 0,724	412
Tele 4	13,127	4,063	+ 0,696	411
Tele 5	13,881	4,554	+ 0,082	394

nach Tanner-Whitehouse (Abb. 13,14)

Die Darstellung in Abbildung 13 und 14 wurde ähnlich wie bei Greulich-Pyle durch Unterteilung der Abszisse in die Wertungskriterien A - I bzw. J und Abtragen der prozentualen Verteilung dieser Kriterien auf der Ordinate vorgenommen.

Eine direkte Umrechnungsmöglichkeit von A, B,..., I, J in Einzelknochenalter besteht nicht, da methodisch nur ein Gesamtknochenalter angegeben werden kann. Da jedoch die Reihenfolge von A - I bzw. J einem chronologischen Fortschreiten der Knochenentwicklung und somit einer gleichsinnigen Zunahme auch des Einzelknochenalters entspricht, können aus dieser Darstellung ähnliche Schlüsse wie bei der Einzelknochenalterverteilung nach Greulich-Pyle gezogen werden.

Bei Capi und Hama sind A und B, entsprechend Standard 1 und unmittelbar nachfolgenden Werten bei Greulich-Pyle, vorhanden und schwach besetzt, was einem frühen Auftreten dieser Ossifikationszentren mit relativ raschem Durchlaufen der ersten Entwicklungsstufen entspricht.

Auffällig ist wieder bei Ulnepi der hohe Wert von 50% bei A. Die Werte A bei Tanner-Whitehouse und Standard 1 bei Greulich-Pyle müssen sich zahlenmäßig entsprechen, da sie in der Aussage gleichbedeutend sind und die gleiche Zahl von Röntgenbildern nach beiden Methoden ausgewertet wurde. Die unverhältnismäßig hohen A - Werte von 25% bis über 50% bei Tri, Luna, Navi, Muma und Mumi entsprechen den Anfangslücken der gleichen Knochenkerne bei Greulich-Pyle, da diese Knochen bei Tanner-Whitehouse mit A bewertet werden, wenn sie noch nicht erschienen sind.

Eine große Ähnlichkeit zeigen die Häufigkeitsverteilungen von Baso 1, 3 und 5. Dasselbe war bei Greulich-Pyle zu be-

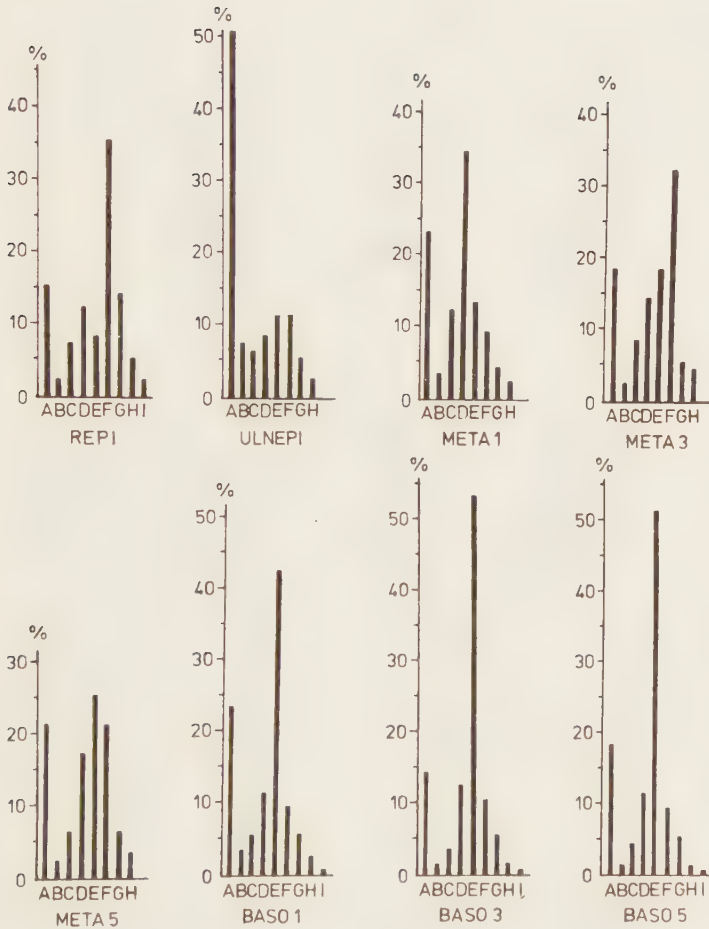


Abb. 13 : Die Verteilungen der Einzelknochen nach Tanner-Whitehouse, angegeben in den stages A-I für Repi, Ulnepi, Meta 1, Meta 3, Meta 5, Baso 1, Baso 3 und Baso 5

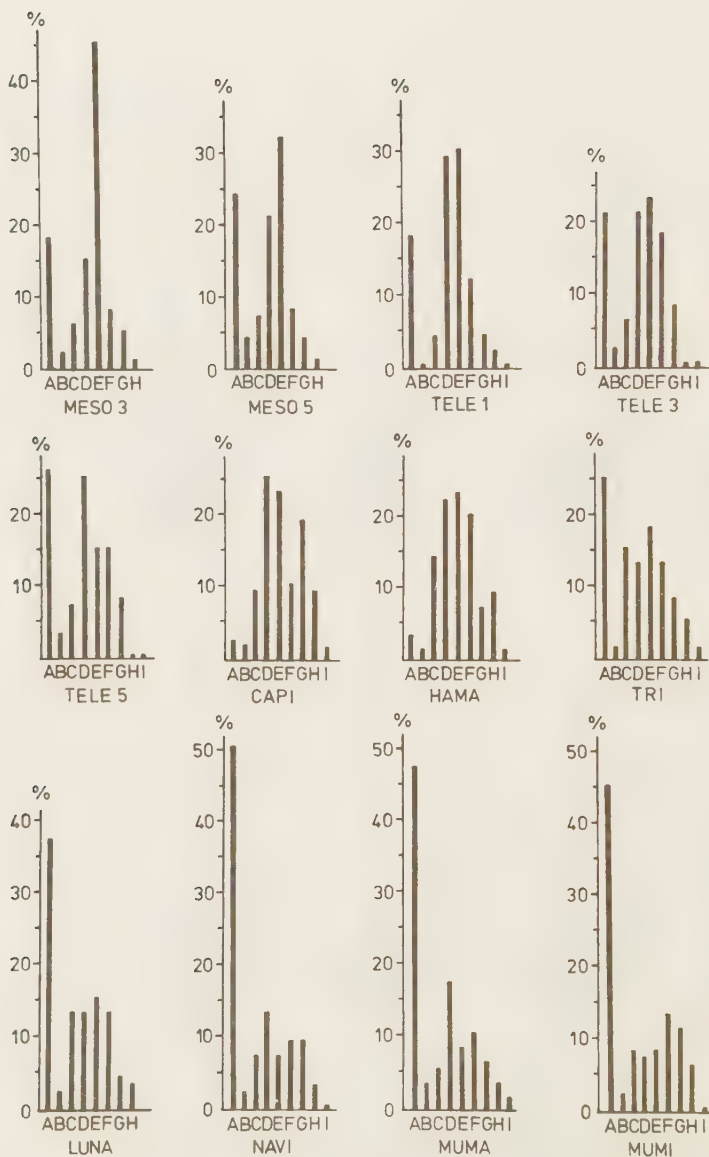


Abb. 14 : Die Verteilungen der Einzelknochen nach Tanner-Whitehouse, angegeben in den stages A-I für Meso 3, Meso 5, Tele 1, Tele 3, Tele 5, Capi, Hama, Tri, Luna, Navi, Muma und Mumi

obachten, obwohl hier die Ähnlichkeit in der Verteilung zwischen Baso 1, 2, 3, 4 und 5 nicht so ausgeprägt erscheint wie gerade zwischen Baso 2, 3 und 4. Besonders fallen die Spitzenwerte bei E ins Auge, wobei der Wert E bei Baso 3 mit 53% der höchste aller vorkommenden Werte ist.

Da Tele 2 und 4 nicht berücksichtigt werden, kann ein mög-

Tab. 4 Mittelwert, Standardabweichung und Schiefe der Einzelknochenalterverteilung nach Tanner-Whiteh.

	Mittelwert	Standard - abweichung	Schiefe	Anzahl
Repi	4,920	2,141	- 0,593	511
Ulnepi	2,841	2,200	+ 0,717	415
Meta 1	3,639	1,830	+ 0,068	490
Meta 3	4,476	2,029	- 0,532	504
Meta 5	4,245	2,004	- 0,438	493
Baso 1	4,037	1,935	- 0,373	491
Baso 3	4,451	1,639	- 0,913	512
Baso 5	4,317	1,769	- 0,772	504
Meso 3	4,158	1,753	- 0,673	506
Meso 5	3,773	1,857	- 0,304	484
Tele 1	4,172	1,736	- 0,466	505
Tele 3	4,141	1,947	- 0,379	490
Tele 5	3,843	2,033	- 0,110	483
Capi	5,217	1,606	- 0,011	517
Hama	5,025	1,670	- 0,080	516
Tri	4,004	2,212	+ 0,047	476
Luna	3,377	2,156	+ 0,294	454
Navi	3,021	2,341	+ 0,659	427
Muma	3,084	2,316	+ 0,656	430
Mumi	3,465	2,558	+ 0,392	432

licherweise verwandter Entwicklungsverlauf mit Tele 5 bzw. Tele 3 nicht festgestellt werden. Es läßt sich nur erkennen, daß die Verteilungen von Tele 1, 3 und 5 in vergleichbarer Weise wie bei Greulich-Pyle voneinander unabhängig erscheinen, bzw. daß über eine eventuelle Gemeinsamkeit in der Reifung zwischen Tele 2 und 5 sowie zwischen Tele 3 und 4, wie sie bei Greulich-Pyle zu beobachten war, nichts ausgesagt werden kann.

Obwohl kein eindeutiger Zusammenhang zwischen der Verteilung der Kriterien A - J und der Gesamtknochenalterverteilung nach Tanner-Whitehouse hergeleitet werden kann, ist möglicherweise die Häufung des Wertes E bei Baso 1, 3, 5, Meso 3, 5, Tele 1, 3 sowie Hama, Tri und Luna für den auffallend gleichförmigen Verlauf der Verteilung des Gesamtknochenalters im Abschnitt von 20 - 60 Monaten verantwortlich zu machen.

Methodenalter

Es wurden Vergleiche angestellt zwischen dem Knochenalter nach beiden Methoden und dem Kalenderalter, dem Längenalter und dem Gewichtsalter sowie zwischen den beiden Methoden selbst.

Weiter sind in drei Diagrammen die Differenzen aus Kalenderalter, Längenalter, Gewichtsalter und jeweils dem Knochenalter nach beiden Methoden gegenübergestellt.

An Hand von Histogrammen ist die Häufigkeitsverteilung der Differenzen aus Kalenderalter, Längenalter, Gewichtsalter und jeweils dem Knochenalter nach einer Methode veranschaulicht. Die Korrelations- und Regressionskoeffizienten sind in Tabelle 5 zusammengestellt.

Beziehung zwischen Kalenderalter und
Knochenalter nach Greulich-Pyle (Abb. 15)

Im Plot - Diagramm Kalenderalter gegen Knochenalter nach
Greulich-Pyle fällt der typische, in Richtung x - Achse

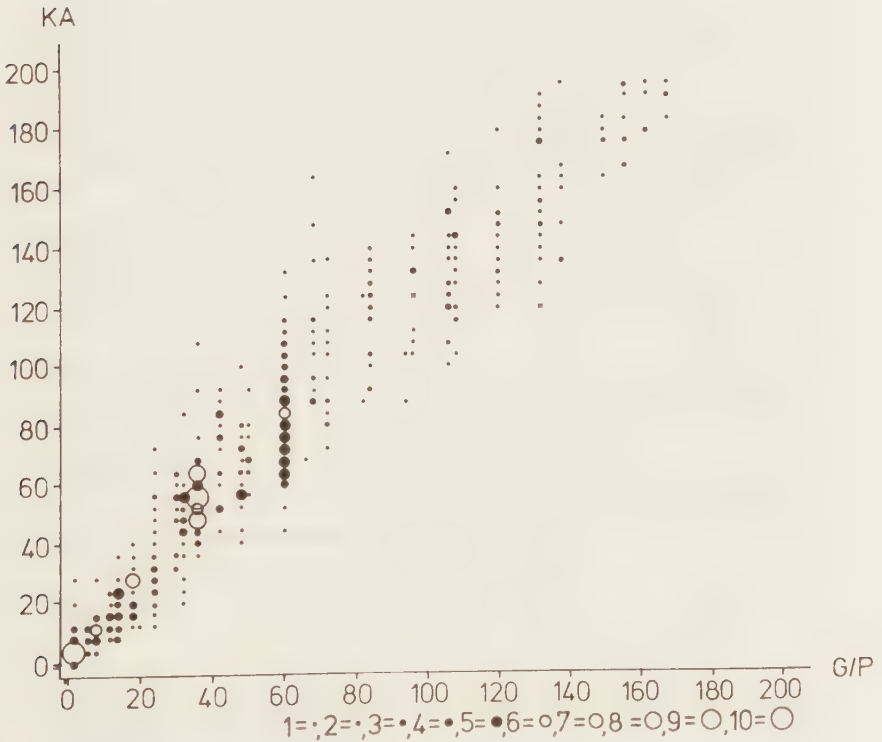


Abb. 15 : Korrelationsdiagramm
Kalenderalter - Knochenalter nach Greulich-Pyle
Zahlenangaben in Monaten
Das Knochenalter nach Greulich-Pyle ist bei den
meisten Kindern kleiner als das Kalenderalter.
Regressionskoeffizient : 1,135
Korrelationskoeffizient : 0,944

stufenförmige Verlauf auf. Einem Wert auf der Abszisse, d.h. einem bestimmten Knochenalter, ist jeweils eine ganze Säule von Kalenderalterwerten zugeordnet.

Der diskontinuierliche Verlauf der Knochenalterwerte ist direkt auf die methodisch bedingte, relativ großstufige Einteilung der möglichen Knochenalter zurückzuführen. Die Genauigkeit der Knochenalterschätzung wird durch dieses sprungweise Fortschreiten des Knochenalters begrenzt.

Im Bereich von 48 - 100 Monaten schien uns der sonst kontinuierlich ansteigende Verlauf unterbrochen zu sein, weshalb für diesen Abschnitt Regressions- und Korrelationskoeffizient gesondert berechnet wurden.

Im Vergleich zum Regressionskoeffizienten für den gesamten Verlauf ergab sich für diesen Teilbereich zwischen 48 und 100 Monaten ein höherer Regressionskoeffizient, was den optischen Eindruck bestätigt.

Noch wesentlich stärker abgesetzt vom Gesamtverlauf ist der Abschnitt von 68 - 108 Monaten, was durch den niedrigeren Wert des Regressionskoeffizienten (0,58) deutlich wird.

Die Werte für die Regressionskoeffizienten in den beiden Teilbereichen bedeuten, daß im Abschnitt von 48 - 100 Monaten das nach Greulich-Pyle eingeschätzte Knochenalter des Patientengutes im Vergleich zum Kalenderalter weniger stark ansteigt, während sich dieses Verhältnis im Bereich 68 - 108 Monate umgekehrt darstellt.

r_{gesamt} : 1,135

r_{48-100} : 1,219

r_{68-108} : 0,580

b_{gesamt} : 0,945

b_{48-100} : 0,723

r = Regressionskoeffizient

b = Korrelationskoeffizient

Der Regressionskoeffizient für den gesamten Verlauf ist größer als 1, d.h. es liegt ein mit zunehmendem Alter sich veränderndes Verhältnis der beiden Vergleichsgrößen Kalenderalter und Knochenalter nach Greulich-Pyle vor.

Im Bereich 0 - 60 Monate sind es 41, im Bereich 60 - 120 Monate 5 und jenseits von 120 Monaten 4 Kinder, die mit ihrem Knochenalter unter der Winkelhalbierenden liegen, d.h. von Greulich-Pyle älter eingeschätzt wurden, als sie dem Kalenderalter nach waren.

Über der Winkelhalbierenden liegen insgesamt 430 Werte, d.h. 430 Kindern wurde im Vergleich zum Kalenderalter ein niedrigeres Knochenalter nach Greulich-Pyle zugeordnet.

Die Zahlenwerte zeigen, daß die untersuchten Kinder in der Mehrzahl der Fälle im Vergleich zum Kalenderalter nach der Methode von Greulich-Pyle zu jung eingeschätzt werden, da sie auf Grund der Art des Minderwuchses in der Knochenkernentwicklung zurückgeblieben sind.

Die Korrelation ist als gut zu bezeichnen, lediglich bei 60 Monaten, also in dem Teilbereich, wo auch der Korrelationskoeffizient mit 0,723 kleiner ist als im Gesamtbereich, sind diesem Knochenalterwert 64 verschiedene Kalenderalter zugeordnet und zwar in einer Spanne von 45 - 133 Monaten.

Beziehung zwischen Kalenderalter und Knochenalter nach Tanner-Whitehouse (Abb. 16)

In diesem Plot - Diagramm erscheint die Punktwolke homogen. Der Regressionskoeffizient ist mit 1,098 kleiner als bei der Beziehung Kalenderalter - Knochenalter nach Greulich-Pyle. Dies bedeutet, daß nach Tanner-Whitehouse die

Kinder ebenfalls dem Kalenderalter gegenüber zu jung eingeschätzt wurden, das Knochenalter nach Greulich-Pyle jedoch insgesamt noch niedriger ist als das Knochenalter nach Tanner-Whitehouse. Die Korrelation ist etwas besser als bei Greulich-Pyle.

In der Verteilung Tanner-Whitehouse/Kalenderalter fällt

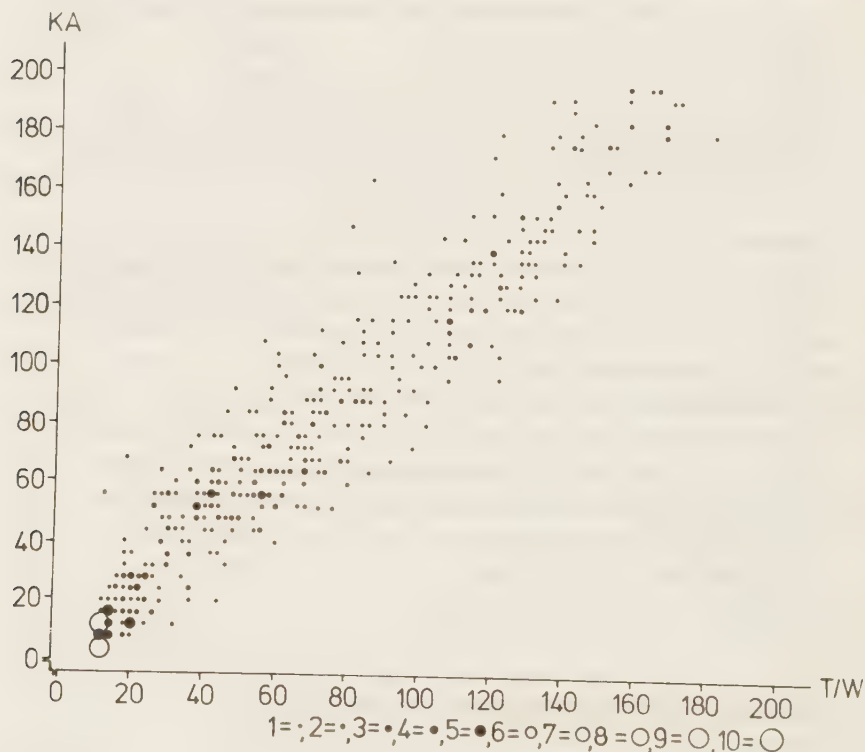


Abb. 16 : Korrelationsdiagramm
 Kalenderalter - Knochenalter n. Tanner-Whitehouse
 Zahlenangaben in Monaten
 Das Knochenalter nach Tanner-Whitehouse ist für den
 größten Teil der Fälle kleiner als das Kalenderalter.
 Regressionskoeffizient : 1,098
 Korrelationskoeffizient : 0,952

bei der Betrachtung wieder ein etwas abgesetzter Bereich auf, der sich jedoch von denen bei Greulich-Pyle unterscheidet. Es ist der Abschnitt zwischen 6 und 42 Monaten. Der Regressionskoeffizient für dieses Intervall nimmt hier den Wert 1,18 an, er liegt also höher als der Koeffizient für den gesamten Verlauf.

Im Vergleich zur Verteilung nach Greulich-Pyle liegen wesentlich mehr Werte unter der Winkelhalbierenden. Die entsprechenden Zahlenwerte für die Verteilung Kalenderalter/Knochenalter nach Greulich-Pyle sind in Klammern angegeben :

0 - 60 Monate : 75 Werte (41)	} nach Tanner-Whitehouse
60 - 120 Monate : 41 Werte (5)	
> 120 Monate : 11 Werte (4)	
	größer als das Kalenderalter

Im Unterschied zur entsprechenden Verteilung nach Greulich-Pyle, wo 430 Werte über der Winkelhalbierenden lagen, sind es bei der Verteilung nach Tanner-Whitehouse 337 Kinder, denen nach dieser Methode ein unter dem Kalenderalter liegender Knochenalterwert beigemessen wurde.

Beziehung zwischen Längenalter und Knochenalter nach Greulich-Pyle (Abb. 17)

Das Längenalter liegt in der Mehrzahl der Fälle unter dem Knochenalter nach Greulich-Pyle. Dies ist wieder auf das Patientengut zurückzuführen, da viele Kinder mit einem konstitutionellen Minderwuchs im Untersuchungsgut vorhanden waren, die eine kleinere Endlänge zu erwarten haben und in der Längenentwicklung im Unterschied zur Knochenreife deutlich retardiert sind.

Der Regressionskoeffizient ist mit 0,819 deutlich kleiner als 1. Im Bereich 0 - 60 Monate sind 106 Längenalterwerte größer als das Knochenalter nach Greulich-Pyle, zwischen 60 und 120 Monaten sind es 27 und jenseits von 120 Monaten 3, was in diesem Fall davon herrührt, daß das Patientengut gemischt ist aus den beiden Formen des nicht

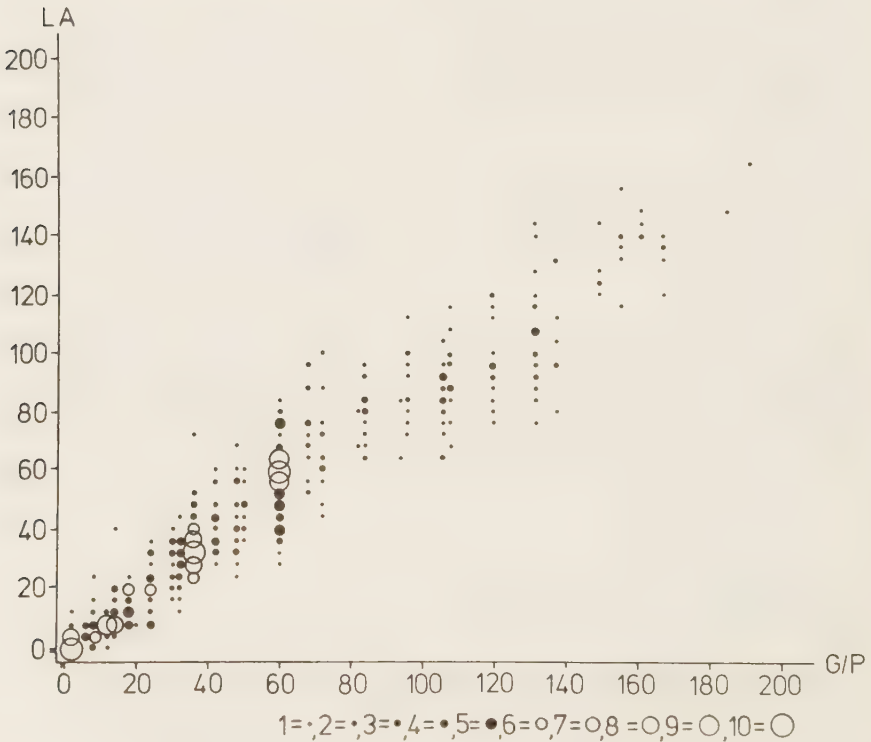


Abb. 17 :

Korrelationsdiagramm

Längenalter - Knochenalter nach Greulich-Pyle
Zahlenangaben in Monaten

In der Mehrzahl der Fälle ist das Knochenalter
n. Greulich-Pyle größer als das Längenalter.

Regressionskoeffizient : 0,819

Korrelationskoeffizient : 0,948

endokrin bedingten Minderwuchses.

Im Gegensatz zu den Beziehungen Kalenderalter/Knochenalter nach Greulich-Pyle und Kalenderalter/Knochenalter nach Tanner-Whitehouse, wo der Regressionskoeffizient für die Abschnitte 48 - 100 und 68 - 108 bzw. 6 - 42 Monate gesondert berechnet wurde, ist hier der auffällige Bereich 80 - 152 Monate, wobei der Wert des Regressionskoeffizienten mit 0,830 geringfügig größer ist als der Gesamtkoeffizient.

Der Korrelationskoeffizient für den genannten Abschnitt ist mit 0,730 wesentlich kleiner als der Koeffizient für den gesamten Verlauf mit 0,948, d.h. die Zuordnung der Werte im Teilabschnitt 80 - 152 Monate ist schlechter als im alle Werte umfassenden Bereich.

Innerhalb des oben genannten Teilbereiches wurde für den noch stärker abgesetzt erscheinenden Abschnitt zwischen 80 und 120 Monaten ein Regressionskoeffizient von 0,490 ermittelt.

Beziehung zwischen Längenalter und Knochenalter nach Tanner-Whitehouse (Abb. 18)

Wie sich weiter oben schon gezeigt hat ist zu erwarten, daß der Regressionskoeffizient des Vergleiches Längenalter/Knochenalter nach Tanner-Whitehouse kleiner ist als der für die Beziehung Längenalter/Knochenalter nach Greulich-Pyle. 90% aller Werte liegen unter der Winkelhalbierenden.

Während bei der Beziehung Längenalter/Knochenalter nach Greulich-Pyle insgesamt 136 Kinder dem Knochenalter gegenüber ein größeres Längenalter aufwiesen, sind es hier nur 36 von 460 Kindern. Der mit einem absoluten Wert von

412 weitaus größte Teil der Kinder hatte ein Knochenalter nach Tanner-Whitehouse, das über dem Längenalter lag. 8 Werte (2%) sind gleich.

Die Korrelation entspricht mit einem Koeffizienten von 0,949 ziemlich genau der zwischen Kalenderalter und Knochenalter nach Tanner-Whitehouse (0,952). In beiden Fäl-

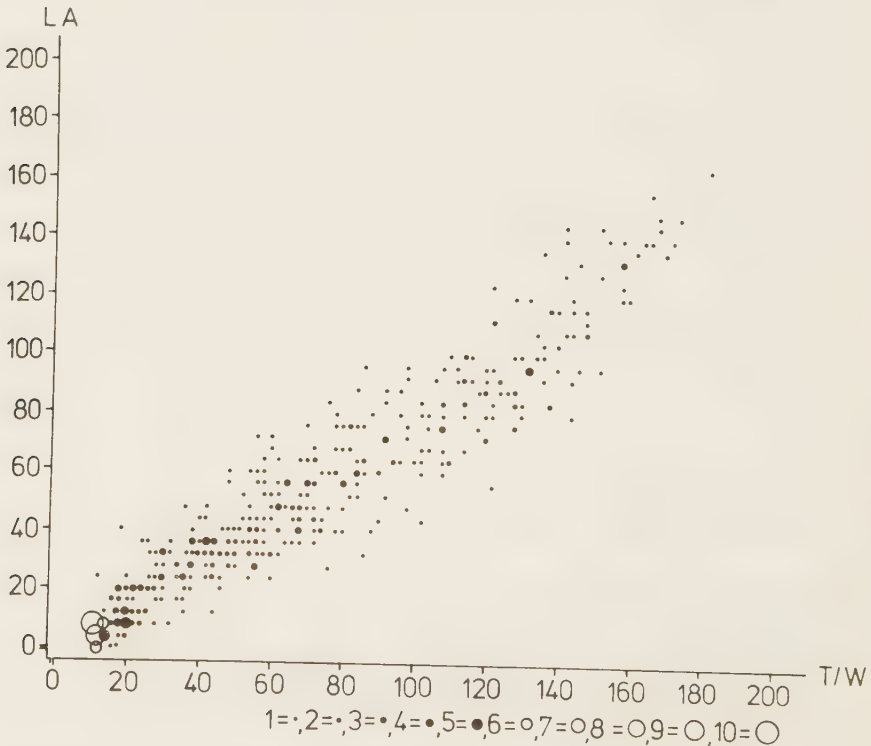


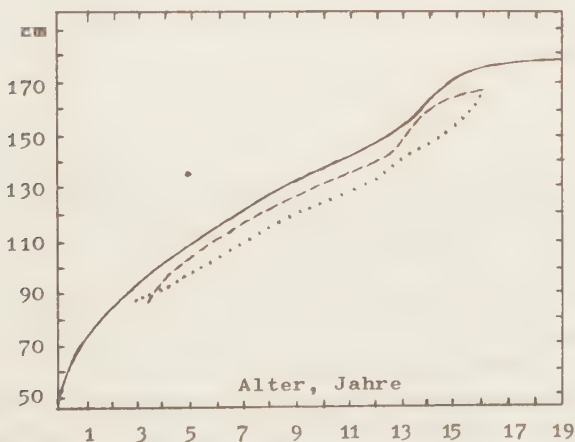
Abb. 18 : Korrelationsdiagramm
Längenalter - Knochenalter nach Tanner-Whitehouse
Zahlenangaben in Monaten
Das Knochenalter n. Tanner-Whitehouse wird größ-
tententeils höher eingeschätzt als das Längenalter.
Regressionskoeffizient : 0,787
Korrelationskoeffizient : 0,949

len liegt eine gute Zuordnung der Werte auf den beiden Koordinatenachsen vor. Es können somit einzelnen Längenalterwerten ziemlich eindeutig die entsprechenden Knochenalterwerte nach Tanner-Whitehouse zugeordnet werden und umgekehrt.

Der Regressionskoeffizient ist für den Teilbereich 0 - 30 Monate mit 0,97 erheblich größer als der Gesamtkoeffizient (0,787), ebenso scheint von 120 - 180 Monaten eine stärker als im vorangehenden Verlauf ansteigende Tendenz vorzuliegen. Der Regressionskoeffizient für diesen Bereich beträgt 1,02.

Diese beiden gesondert betrachteten Abschnitte unterscheiden sich von den weiter oben genannten beim Vergleich Kalenderalter/Methodenalter und Längenalter/Knochenalter nach Greulich-Pyle.

Auch bei normalwüchsigen Kindern liegt das Knochenalter nach Tanner-Whitehouse über dem Längenalter (Tanner, Whitehouse, Takashi [63]). Die Verlaufskurve des Kalenderalters liegt näher an P_{50} der Länge als die Verlaufskurve des Knochenalters.



Kalenderalter(--) und Knochenalter(••) gegen Länge(P_{50} —) nach Tanner, Whitehouse und Takashi (63)

Beziehung zwischen Gewichtsalter und
Knochenalter nach Greulich-Pyle sowie
Gewichtsalter und
Knochenalter nach Tanner-Whitehouse (Abb. 19, 20)

Die beiden Diagramme Gewichtsalter/Knochenalter nach Greu-

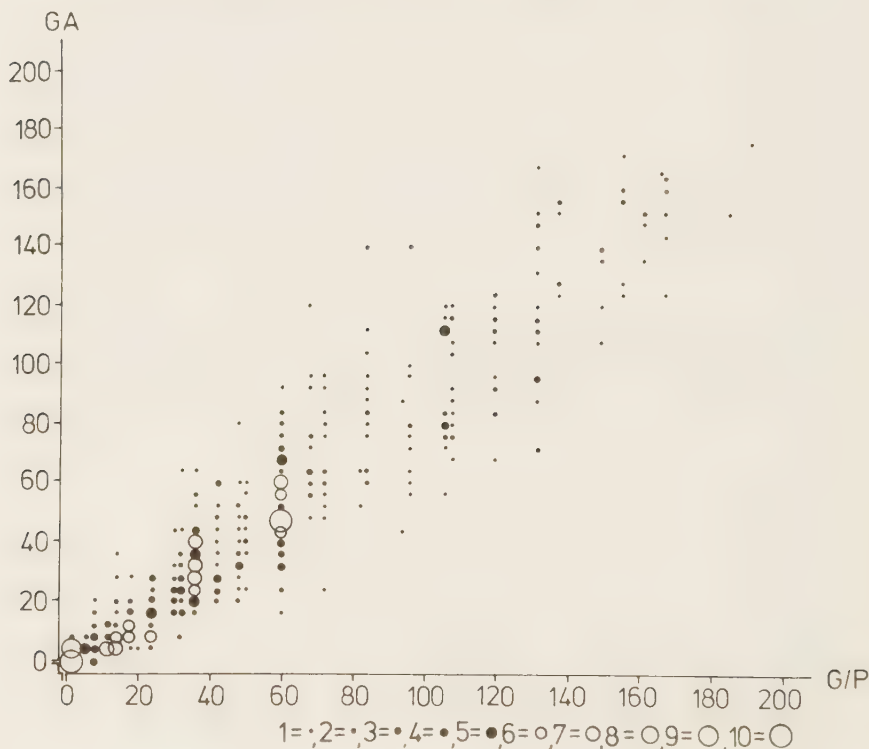


Abb. 19 : Korrelationsdiagramm
Gewichtsalter - Knochenalter nach Greulich-Pyle
Zahlenangaben in Monaten
Bei der Knochenalterschätzung nach Greulich-Pyle
liegen die meisten Werte über dem Gewichtsalter.
Regressionskoeffizient : 0,911
Korrelationskoeffizient : 0,930

lich-Pyle und Gewichtsalter/Knochenalter nach Tanner-Whitehouse zeigen gleichsinnige Regressionskoeffizientenwerte wie bei den vorangegangenen Vergleichen.

Obwohl der Gesamtkorrelationskoeffizient mit 0,930 nur unwesentlich schlechter ist als beim Vergleich Kalenderalter/Knochenalter nach Greulich-Pyle, ist eine Spanne von 98 Mo-

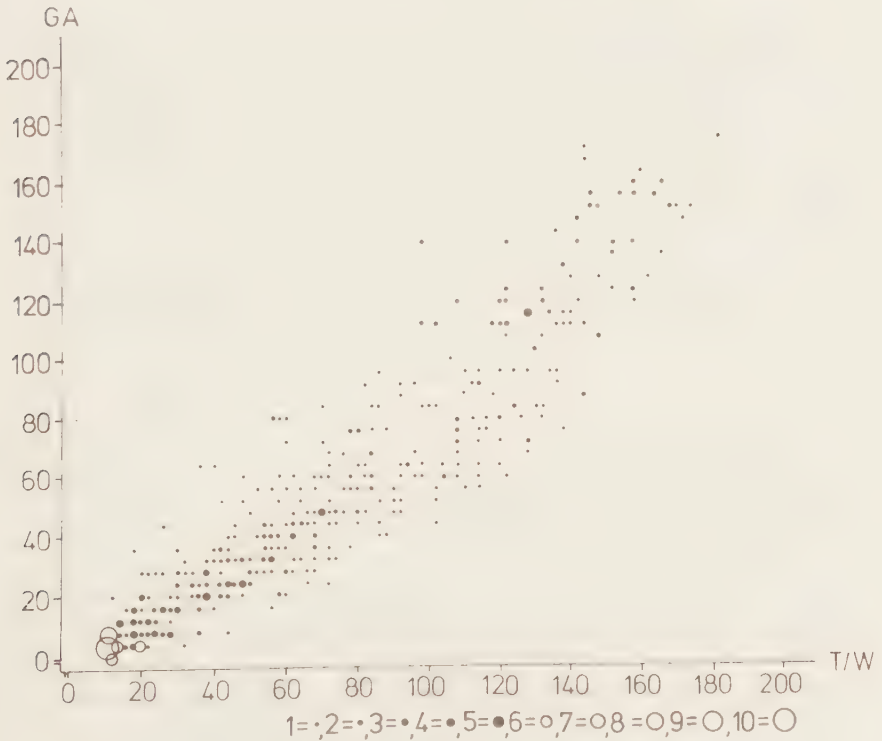


Abb. 20 : Korrelationsdiagramm
Gewichtsalter - Knochenalter nach Tanner-Whitehouse
Zahlenangaben in Monaten
Die weitaus größere Zahl der Knochenalterwerte nach Tanner-Whitehouse liegt über dem Gewichtsalter.
Regressionskoeffizient : 0,869
Korrelationskoeffizient : 0,952

naten Gewichtsalterunterschied pro Knochenalterwert bei der Beziehung Gewichtsalter/Knochenalter nach Greulich-Pyle zweimal vorhanden, während ein größter Wert von 88 Monaten in der Verteilung Kalenderalter/Knochenalter nach Greulich-Pyle nur einmal vorkommt. In 110 Fällen war das Gewichtsalter größer als das Knochenalter nach Greulich-Pyle, in 330 Fällen war es kleiner.

Der Regressionskoeffizient der Beziehung Gewichtsalter/Knochenalter nach Tanner-Whitehouse liegt mit 0,869 ähnlich wie beim Verhältnis der Koeffizienten der Beziehungen Gewichtsalter/Knochenalter nach Greulich-Pyle und Längenalter/Knochenalter nach Greulich-Pyle über dem der Beziehung Längenalter/Knochenalter nach Tanner-Whitehouse mit 0,787.

Das Gewichtsalter liegt also relativ höher als das Längenalter. 37 Gewichtsalterwerte sind größer als das Knochenalter nach Tanner-Whitehouse, 406 Werte liegen darunter.

Beziehung zwischen
Knochenalter nach Greulich-Pyle und
Knochenalter nach Tanner-Whitehouse (Abb. 21)

Beim Vergleich der beiden Knochenalter nach Greulich-Pyle und Tanner-Whitehouse ergibt sich ein Regressionskoeffizient von 1,004. Dieser Wert bedeutet, daß der Unterschied zwischen den beiden Methoden durch einen fast konstanten Betrag zu kennzeichnen ist.

352 Kinder wurden von Tanner-Whitehouse älter eingeschätzt als von Greulich-Pyle.

Insgesamt führt also die Einschätzung des Knochenalters

nach der Methode Tanner-Whitehouse auch beim Minderwuchs zu höheren Knochenalterwerten als nach der Methode Greulich -

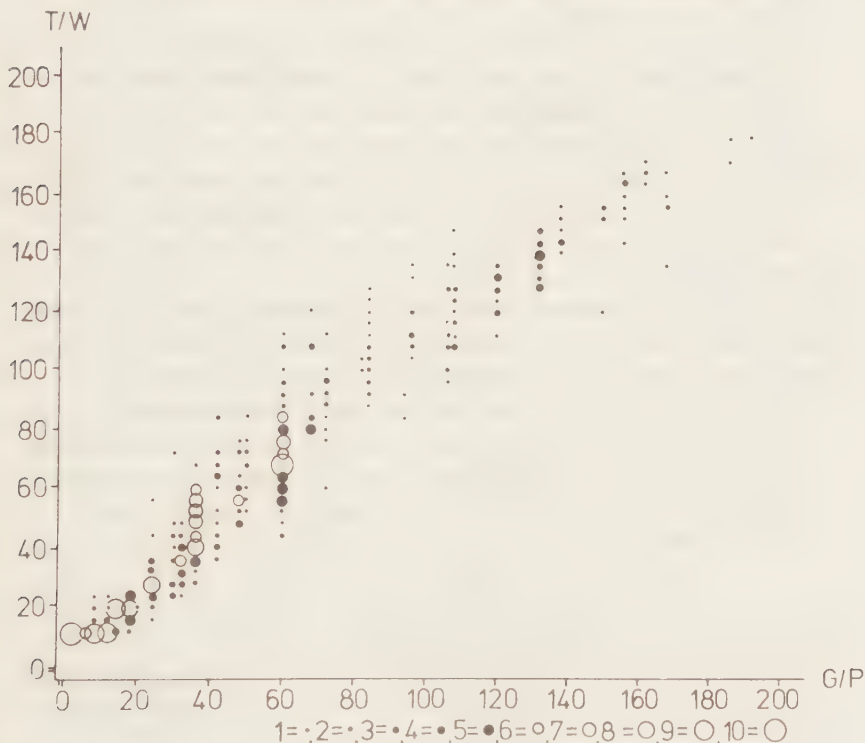


Abb. 21 :

Korrelationsdiagramm

Knochenalter nach Tanner-Whitehouse - Knochenalter nach Greulich-Pyle

Zahlenangaben in Monaten

Die Verteilung der Knochenalterwerte nach Greulich-Pyle und Tanner-Whitehouse zeigt keinen gleichförmigen Verlauf. In verschiedenen Knochenalterabschnitten ergeben sich unterschiedliche Regressionskoeffizienten.

Koeffizienten für den gesamten Verlauf :

Regressionskoeffizient r : 1,004

Korrelationskoeffizient : 0,963

-Pyle. 38 Werte waren gleich, nur 71 Kindern wurde ein Knochenalter nach Tanner-Whitehouse zugeordnet, das unter dem von Greulich-Pyle lag.

Die Anordnung der Punktwolke erscheint ungleichmäßig. Für die Teilbereiche 0 - 18, 24 - 76, 84 - 120 und >132 Monate ergeben sich folgende Regressionskoeffizienten :

0,54 ; 1,12 ; 0,64 ; 0,82 .

Es besteht also kein gleichbleibender Zusammenhang über alle Altersgruppen hinweg, sondern die beiden Methoden schätzen das Knochenalter in bestimmten Altersabschnitten verschieden ein.

Im Bereich 0 - 60 Monate liegen 44 Werte unter, 230 über der Winkelhalbierenden. 230 Kinder wurden somit in diesem Abschnitt nach Tanner-Whitehouse älter eingeschätzt als nach Greulich-Pyle, nur 44 Kindern wurde nach Greulich-Pyle ein größeres Knochenalter zugeordnet als nach Tanner-Whitehouse. Das Verhältnis der Knochenalterwerte unter und über der Winkelhalbierenden ist 1 : 5,23, d.h. 5,23 mal soviel Kinder sind nach Tanner-Whitehouse älter als nach Greulich-Pyle.

Von 60 - 120 Monate wird ebenfalls der weitaus größte Teil der Kinder von Tanner-Whitehouse älter eingeschätzt als von Greulich-Pyle. 11 Werte liegen unter, 88 Werte über der Winkelhalbierenden, was einem Verhältnis von 1 : 8 entspricht. In diesem Abschnitt sind also 8 mal soviel Kinder nach der Methode von Tanner-Whitehouse älter eingeschätzt worden als nach der Methode von Greulich-Pyle.

Jenseits von 120 Monaten ist das Verhältnis der Werte über der Winkelhalbierenden (34) zu denen darunter (16) gleich 2,13 : 1, d.h. etwas mehr als doppelt soviel Kinder werden hier von Tanner-Whitehouse älter eingeschätzt als von Greulich-Pyle.

Durch die stufenförmige Knochenalterausprägung bei Greulich-Pyle treffen zwar pro Knochenalterwert entsprechend viele

Werte nach Tanner-Whitehouse, der Korrelationskoeffizient für den gesamten Verlauf ist jedoch mit 0,963 sehr nahe an 1 .

Bei Knochenalter 60 Monate (Greul.-Pyle) reicht die Spanne der Werte nach Tanner-Whitehouse von 43 bis 133 Monate. In den beiden angrenzenden Bereichen von 0 - 60 und 60 - 120 Monate treten durchwegs nur kleinere Streubreiten auf.

In umgekehrter Weise erscheinen zwar in der graphischen Darstellung pro Knochenalterwert nach Tanner-Whitehouse teilweise sehr viele verschiedene Werte nach Greulich - Pyle, tatsächlich aber liegen diese nicht so wie dargestellt auf einer Linie.

Die Tanner-Whitehouse - Koordinate wurde in einer Intervallbreite von 4 Monaten ausgedruckt, d.h. die Knochenalterwerte sind nur in den Stufen 0, 4, 8, 12, 16 usw. angegeben. Da die Knochenalterwerte nach Tanner-Whitehouse jedoch jeden beliebigen ganzzahligen Wert dazwischen annehmen können, fallen diese Zwischenwerte zwangsläufig auf die Grenzwerte der Intervalle.

Werte zwischen 0 und 4 Monaten, also 1, 2, 3, 4 Monate erscheinen somit in der graphischen Darstellung nur als Knochenalterwert 4 Monate. Entsprechend ist es mit den Werten 5, 6, 7, 8 Monate, die in der Darstellung alle den Knochenalterwert 8 Monate erhalten.

Bei Greulich-Pyle ist dies nicht der Fall, da hier die Werte methodisch sowieso nur in Stufen angegeben werden können und diese Stufen immer größer sind als die Intervallbreite auf der entsprechenden Koordinatenachse, die mit 2 Monaten immer kleiner ist.

Die unterschiedlichen Regressionskoeffizienten in verschiedenen Bereichen können einerseits in Besonderheit

ten des Krankengutes begründet, andererseits durch methodische Unterschiede verursacht sein.

Eigentümlichkeiten im Patientengut erscheinen unwahrscheinlich, da in diesem Fall Abweichungen immer in den gleichen Abschnitten zu erwarten wären. Vom Gesamtkoeffizienten abweichende Werte ergeben sich aber für die verschiedenen Beziehungen in voneinander unterschiedlichen Knochenalterbereichen.

Da jedoch von Roche et al. (46) schon Unterschiede in der Knochenalterschätzung nach Greulich-Pyle und Tanner-Whitehouse an gesunden, normalwüchsigen Kindern in Abhängigkeit vom Kalenderalter beobachtet wurden, scheint uns wahrscheinlicher, daß auch bei dem hier vorliegenden Patientengut gleiche Unterschiede zwischen den beiden Methoden in ähnlicher Weise deutlich werden.

Tab. 5

	Regressions- koeffizient	Korrelations- koeffizient
Kal.-A./Kno.-A.n.G/P	1,135	0,944
Kal.-A./Kno.-A.n.T/W	1,098	0,952
Län.-A./Kno.-A.n.G/P	0,819	0,948
Län.-A./Kno.-A.n.T/W	0,787	0,949
Gew.-A./Kno.-A.n.G/P	0,911	0,930
Gew.-A./Kno.-A.n.T/W	0,869	0,952
Kno.-A.n.T/W // Kno. A.n.G/P	1,004	0,963

Gegenüberstellung der Differenzbildungen aus
Kalenderalter, Längenalter, Gewichtsalter und
jeweils dem Knochenalter nach beiden Methoden
(Abb. 22, 23 und 24)

In Abbildung 22, 23 und 24 sind die Differenzen aus Kalenderalter, Längenalter, Gewichtsalter und jeweils dem Knochenalter nach beiden Methoden graphisch dargestellt.

Bei dieser Art der Darstellung liegt der Nullpunkt innerhalb der Punktwolke, die sich auf 4 Quadranten verteilt. Die Aufteilung in Quadranten erfolgt durch die Koordinatenachsen, die sich im Nullpunkt kreuzen und in der graphischen Darstellung gestrichelt eingezeichnet sind.

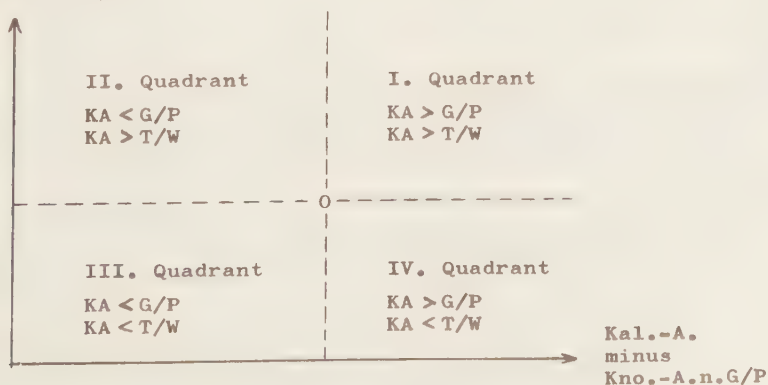
Die Bezeichnung der Quadranten erfolgt mit den römischen Ziffern I - IV entgegen dem Uhrzeigersinn, mit der Zählung im rechten oberen Quadranten beginnend.

Für die einzelnen Quadranten gelten die folgenden Beziehungen, wobei die Differenzbildung aus Kalenderalter und dem Knochenalter nach beiden Methoden als Beispiel dienen soll :

Kal.-A.

minus

Kno.-A.n.T/W



Auf der Abszisse sind die Differenzen aus Kalenderalter und Knochenalter nach Greulich-Pyle abgetragen, auf der Ordinate die aus Kalenderalter und Knochenalter nach Tanner-Whitehouse.

Abbildung 22 zeigt die Differenzbildung aus Kalenderalter und

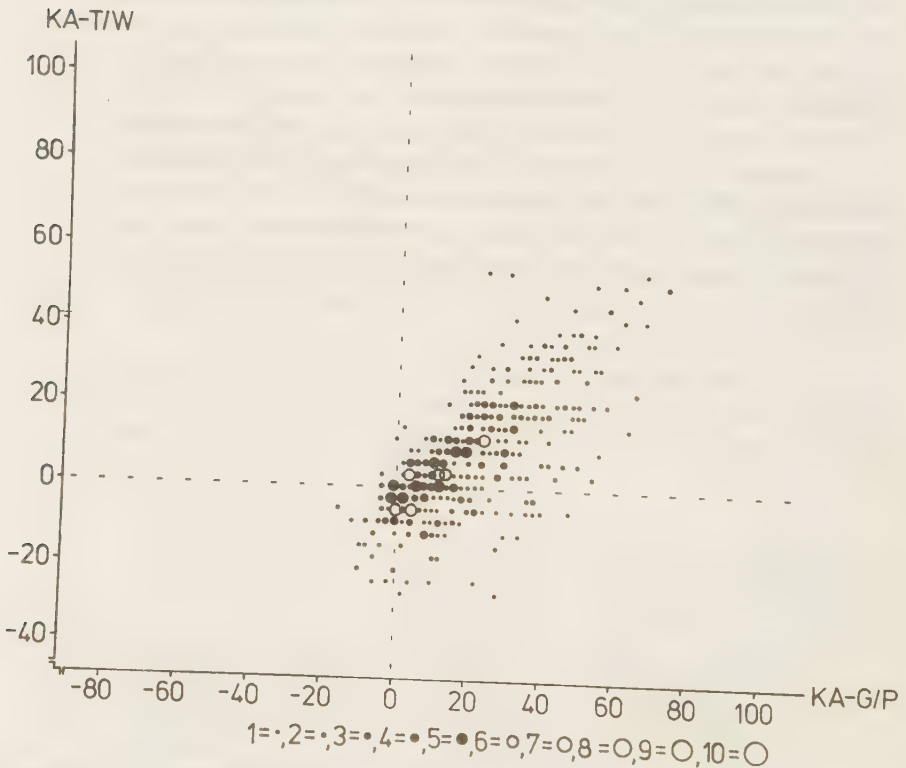


Abb. 22 : Darstellung der Differenzen aus Kalenderalter und Knochenalter n. Tanner-Whitehouse gegen die Differenzen aus Kalenderalter und Knochenalter n. Greulich-Pyle
Zahlenangaben in Monaten
Der größte Teil der Punktwolke liegt im I. Quadranten, das Knochenalter n. Greulich-Pyle und Tanner-Whiteh. ist demzufolge größtenteils kleiner als das Kalenderalter.

Knochenalter nach Tanner-Whitehouse im Vergleich zu den Differenzen aus Kalenderalter und Knochenalter nach Greulich - Pyle. Der größte Teil der Werte liegt im I. Quadranten, d.h. hier sind sowohl Knochenalter nach Greulich-Pyle als auch nach Tanner-Whitehouse kleiner als das Kalenderalter.

Im II. Quadranten, für den die Beziehung $KA < G/P$ und $KA > T/W$ gilt, liegen nur 0,2% der Werte, d.h. in nur 0,2% aller Fälle ist demnach das Knochenalter nach Greulich-Pyle größer als das Kalenderalter und gleichzeitig das Knochenalter nach Tanner-Whitehouse kleiner als das Kalenderalter.

Im IV. Quadranten liegen wesentlich mehr Werte als im III. Quadranten. Diese Tatsache ist Ausdruck dafür, daß nach der Methode von Greulich-Pyle erheblich mehr Kinder mit einem im Vergleich zum Kalenderalter kleineren Knochenalter eingeschätzt wurden als nach der Methode von Tanner-Whitehouse.

Beim Längenalter (Abb. 23) liegen die Verhältnisse wieder entsprechend anders, da dieses in der Mehrzahl der Fälle kleiner als das Knochenalter nach beiden Methoden ist, das gleiche gilt für das Gewichtsalter (Abb. 24).

Beim Längenalter liegt der Großteil der Werte im III. Quadranten, für den die Beziehung $LA-G/P < 0$ und $LA-T/W < 0$ gilt, d.h., das Längenalter ist sowohl kleiner als das Knochenalter nach Greulich-Pyle als auch kleiner als das Knochenalter nach Tanner-Whitehouse.

Es existiert nur ein Fall, wo das Knochenalter nach Tanner-Whitehouse kleiner als das Längenalter und gleichzeitig das Knochenalter nach Greulich-Pyle größer als das Längenalter ist.

Beim Gewichtsalter ist die Situation ähnlich wie beim Längenalter.

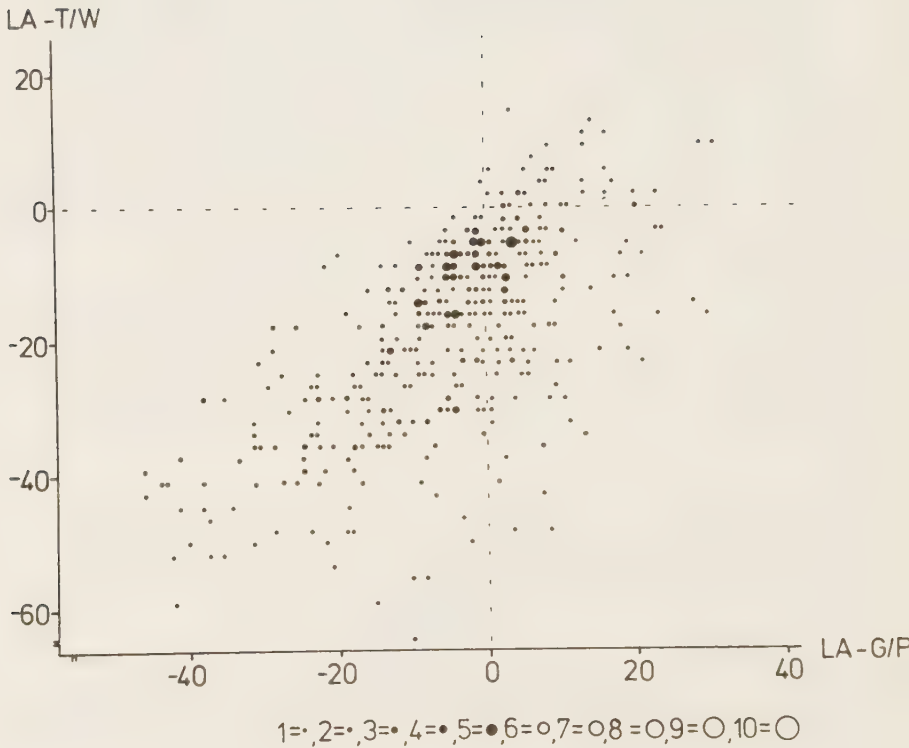


Abb. 23 : Darstellung der Differenzen aus Längenalter und Knochenalter nach Tanner-Whitehouse gegen die Differenzen aus Längenalter und Knochenalter nach Greulich-Pyle
Zahlenangaben in Monaten
Die Werte häufen sich im III. Quadranten, da das Längenalter in den meisten Fällen kleiner als das Knochenalter nach den beiden Methoden ist.

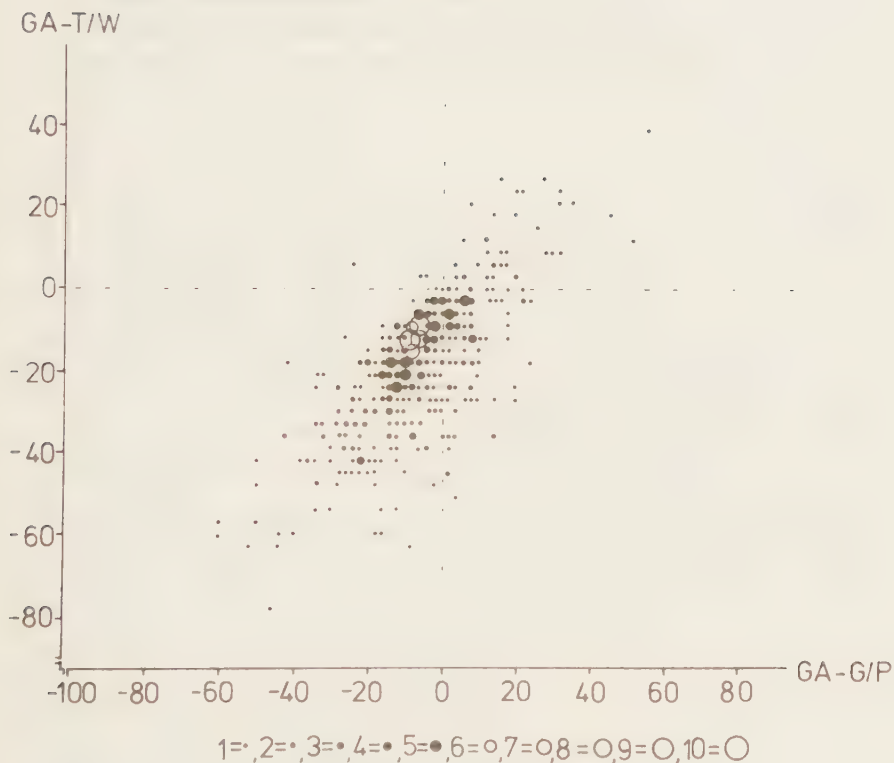


Abb. 24 : Darstellung der Differenzen aus Gewichtsalter und Knochenalter nach Tanner-Whitehouse gegen die Differenzen aus Gewichtsalter und Knochenalter nach Greulich-Pyle

Zahlenangaben in Monaten

Der überwiegende Teil der Kinder wurde nach den beiden Methoden älter eingeschätzt als nach dem Gewichtsalter, die größte Konzentration der Werte ist deshalb im III. Quadranten zu finden.

Tabelle 6 gibt einen Überblick über die prozentualen Verteilungen der Werte in den einzelnen Quadranten und auf den Koordinatenachsen.

Tab. 6

	I	II	III	IV
Kal.-A. min. Kno.-A.n.T/W gegen Kal.-A. min. Kno.-A.n.G/P	63,2%	0,2%	5%	18,9%
Län.-A. min. Kno.-A.n.T/W gegen Län.-A. min. Kno.-A.n.G/P	6,2%	0,2%	62,9%	28,3%
Gew.-A. min. Kno.-A.n.T/W gegen Gew.-A. min. Kno.-A.n.G/P	9,2%	0,6%	63%	18,8%
	auf der x-Achse		auf der y-Achse	
	+	-	+	-
Kal.-A. min. Kno.-A.n.T/W gegen Kal.-A. min. Kno.-A.n.G/P	7,1%	0,4%	1,3%	3,9%
Län.-A. min. Kno.-A.n.T/W gegen Län.-A. min. Kno.-A.n.G/P	2%	0%	0%	0,4%
Gew.-A. min. Kno.-A.n.T/W gegen Gew.-A. min. Kno.-A.n.G/P	2%	0,2%	0%	6,2%

Häufigkeitsverteilungen der Differenzen aus
Kalenderalter, Längenalter, Gewichtsalter und je -
weils einem Methodenalter (Abb. 25,26,27,28,29,30)

In den Histogrammen der Abbildungen 25 - 30 sind die Ver -
teilungen der Differenzen aus Kalenderalter, Längenalter ,
Gewichtsalter und jeweils einem Methodenalter aufgetragen.
Auf der Ordinate erscheint die prozentuale Häufigkeit der
einzelnen Klassenbesetzungen. Die Klassenbreiten sind un -

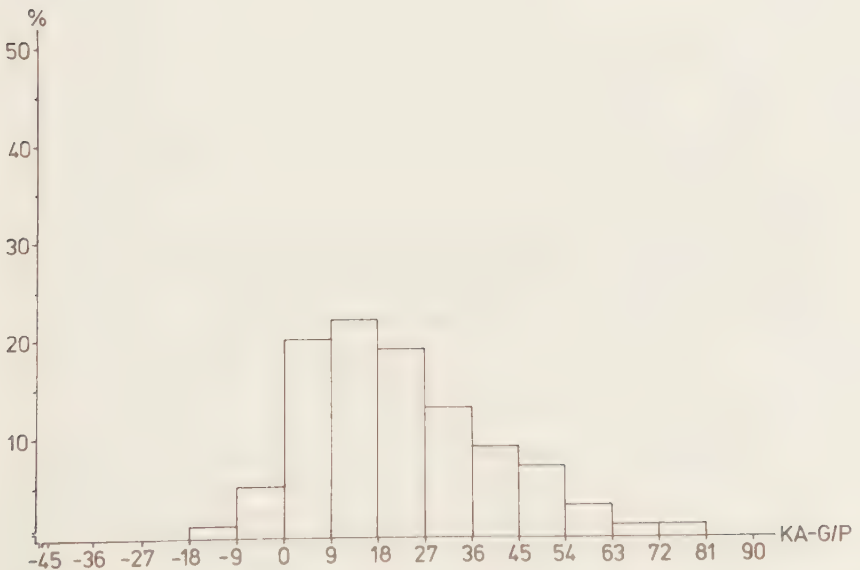


Abb. 25 : Häufigkeitsverteilung der Differenzen aus Kalender-
alter und Knochenalter nach Greulich-Pyle
Der weitaus größte Teil der Werte liegt im Bereich
größer 0 .

terschiedlich. Sie sind in Tabelle 7 zusammengestellt.

Differenzbildung aus

Kalenderalter und Knochenalter nach Greulich-Pyle sowie

Kalenderalter und Knochenalter nach Tanner-Whitehouse

(Abb. 25 und 26)

In ähnlicher Weise wie in den vorhergegangenen Abbildungen zeigt sich wieder deutlich das im Vergleich zum Kalenderalter retardierte Knochenalter. Während bei der Verteilung der Differenzen aus Kalenderalter und Knochenalter nach Greulich-Pyle (Abb. 25) die maximale Klassenbesetzung von 21,57% in der Klasse 9 - 18 Monate vorliegt, erscheint sie bei Tanner-Whitehouse mit 25% innerhalb der Klasse -3 - +6 Monate, liegt also hier eindeutig um den Nullpunkt.

Diese Aussage entspricht wieder der Tatsache, daß nach Tanner-Whitehouse das Knochenalter höher eingeschätzt wird als nach Greulich-Pyle. In beiden Histogrammen erscheint in unterschiedlicher Darstellung wieder derselbe, schon beobachtete Sachverhalt. Es liegt eine ähnliche positive Schiefe vor wie bei der Altersverteilung und den Knochenalterverteilungen nach den einzelnen Methoden. Hierbei handelt es sich um die gleiche Häufung der kleinen Alterswerte, in diesem Fall der wertmäßig kleineren Differenzen aus Kalenderalter und Knochenalter nach Greulich-Pyle sowie Kalenderalter und Knochenalter nach Tanner-Whitehouse.

Unterschiede zeigen sich ebenfalls im Mittelwert, der in der Verteilung der Differenzen aus Kalenderalter und Knochenalter nach Greulich-Pyle bei 21,67 Monaten liegt, in der Ver -

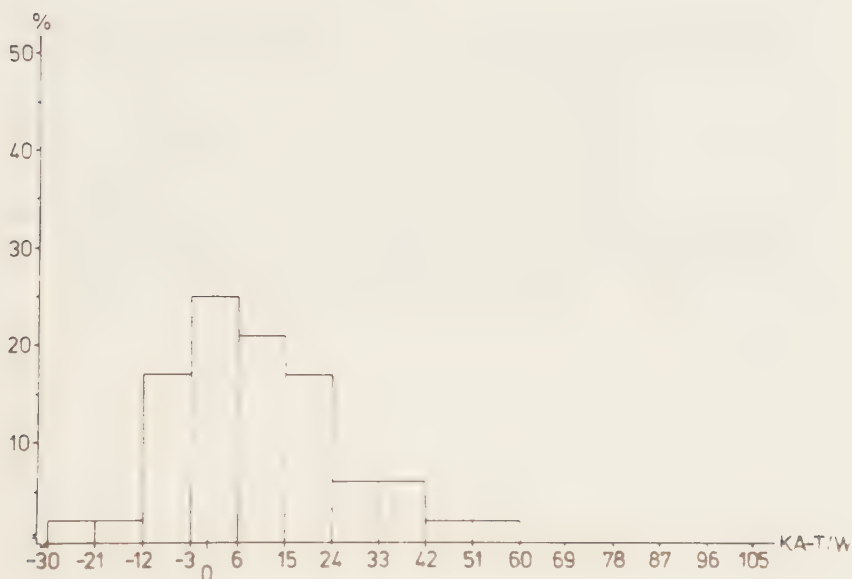


Abb. 26 : Häufigkeitsverteilung der Differenzen aus Kalenderalter und Knochenalter nach Tanner-Whitehouse
Im Vergleich zur Verteilung der Differenzen aus Kalenderalter und Knochenalter nach Greulich-Pyle liegen etwas weniger Werte im Bereich größer 0 .

teilung der Differenzen aus Kalenderalter und Knochenalter nach Tanner-Whitehouse bei 9,77 .
Ebenso fällt bei Greulich-Pyle ein rechts von der größten Besetzungsklasse gleichmäßig abfallender Kurvenverlauf auf , während bei Tanner-Whitehouse eine Stufe von 17,17% auf 6,3% im Anschluß an die Klasse 15 - 24 Monate deutlich wird.

Differenzbildung aus

Längenalter und Knochenalter nach Greulich-Pyle sowie

Längenalter und Knochenalter nach Tanner-Whitehouse

(Abb. 27 und 28)

Im Vergleich zu den Differenzdarstellungen aus Kalenderalter und Knochenalter nach Greulich-Pyle (Abb. 25) so wie Kalenderalter und Knochenalter nach Tanner-Whitehouse (Abb. 26) zeigt sich insgesamt eine Verschiebung in den ne-

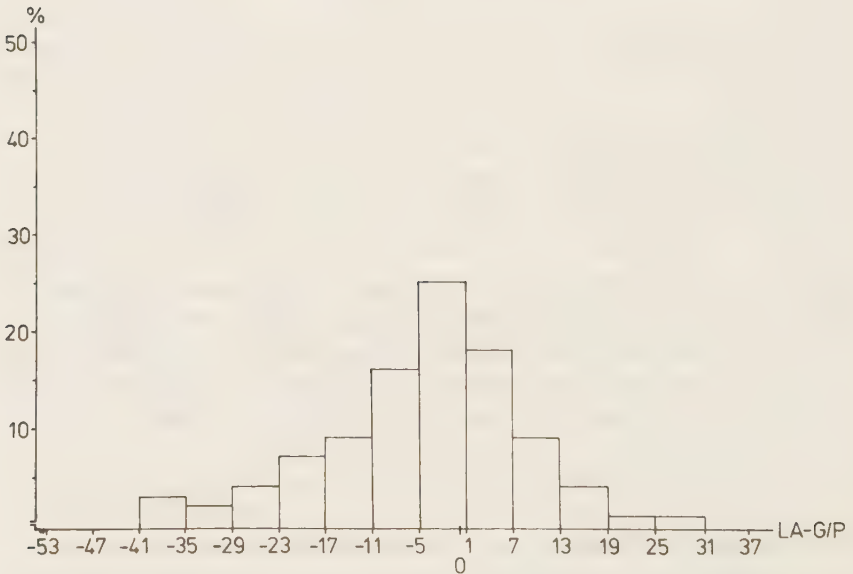


Abb. 27 : Häufigkeitsverteilung der Differenzen aus Längenalter und Knochenalter nach Greulich-Pyle
Die meisten Werte liegen im negativen Bereich.

gativen Bereich, d.h. die Differenzen aus Längenalter und dem Knochenalter nach beiden Methoden nehmen größtenteils kleinere Werte an als die Differenzen aus Kalenderalter und dem Knochenalter nach den beiden Methoden.

Dies ist wiederum Ausdruck dafür, daß das Längenalter im Vergleich zum Kalenderalter noch niedriger liegt als beide Knochenalter.

Bei den Differenzen aus Längenalter und Knochenalter nach

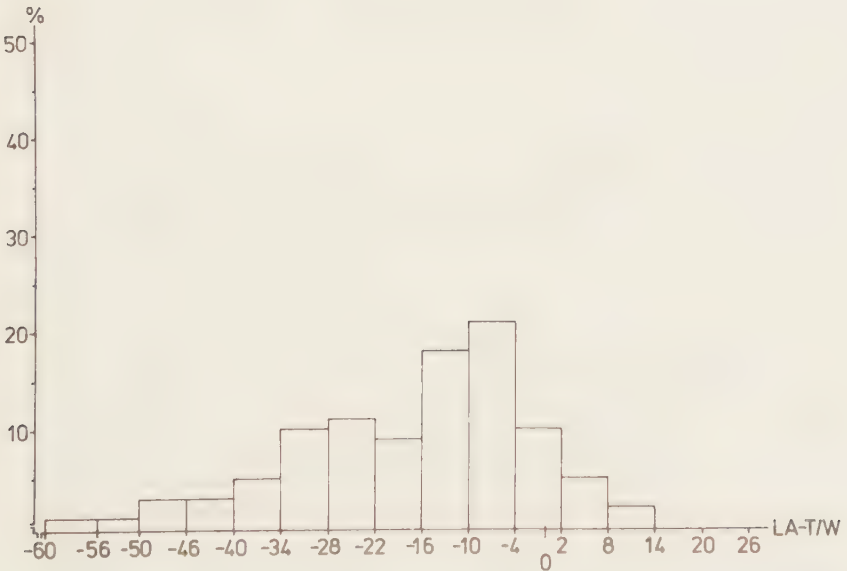


Abb. 28 : Häufigkeitsverteilung der Differenzen aus Längenalter und Knochenalter nach Tanner-Whitehouse
Es fallen wesentlich mehr Werte in den Bereich kleiner 0 als bei der Differenzbildung aus Längenalter und Knochenalter nach Greulich-Pyle.

Greulich-Pyle liegt der Nullpunkt in der Klasse mit der maximalen Besetzung von $-5 - +1$, eine leichte negative Schiefe ist zu beobachten, wobei der größte positive Wert bei $+31$, der größte negative bei -41 liegt.

Der Mittelwert ist mit $-4,86$ Monaten wieder wesentlich größer als bei der Differenzdarstellung von Längenalter und Knochenalter nach Tanner-Whitehouse ($-16,26$).

Die Besetzung des negativen Bereichs ist bei Tanner-Whitehouse entsprechend stärker ausgeprägt als bei Greulich-Pyle, was wieder eine Folge des schon beobachteten größeren Knochenalters nach Tanner-Whitehouse im Vergleich zum Knochenalter nach Greulich-Pyle ist.

Differenzbildung aus

Gewichtsalter und Knochenalter nach Greulich-Pyle sowie
Gewichtsalter und Knochenalter nach Tanner-Whitehouse

(Abb. 29 und 30)

Bei der Betrachtung der Verteilungsdiagramme fällt der fast identische Mittelwert von $-5,20$ und $-16,28$ im Vergleich zu den Differenzbildungen aus Längenalter und Knochenalter nach Greulich-Pyle sowie Längenalter und Knochenalter nach Tanner-Whitehouse auf. Die Differenzen aus Gewichtsalter und Knochenalter nach Greulich-Pyle liegen zu $65,14\%$ im negativen Bereich, der entsprechende Wert beim Längenalter beträgt $61,69\%$. Der Bereich kleiner 0 umfaßt bei den Differenzen aus Knochenalter nach Tanner-Whitehouse und Gewichtsalter $74,32\%$, beim Längenalter $88,66\%$. $65,14\%$ aller Gewichtsalterwerte sind also kleiner als das nach Greulich-Pyle bestimmte Knochenalter, die größte Differenz beträgt 52 Monate.

Der größte Unterschied zwischen Längenalter und Knochenalter nach Greulich-Pyle liegt bei 41 Monaten, wobei 61,69% aller Längenalter kleiner als das Knochenalter nach Greulich-Pyle sind. Die Verschiebung in den negativen Bereich, die bei den Differenzbildungen aus Längenalter und dem Knochenalter nach den beiden Methoden zu beobachten war, ist in fast gleicher Weise auch bei den Verteilungen der Differenzen aus Gewichtsalter und Methodenalter festzustellen.

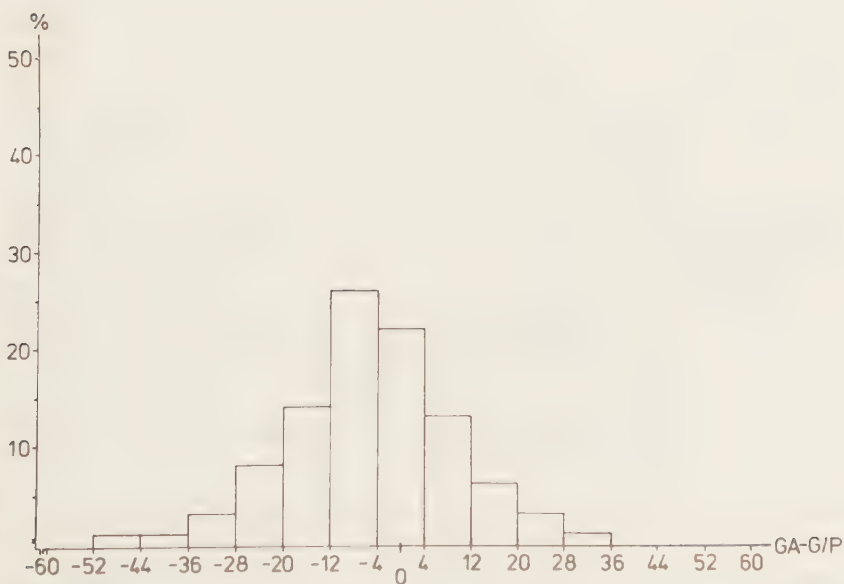


Abb. 29 : Häufigkeitsverteilung der Differenzen aus Gewichtsalter und Knochenalter nach Greulich-Pyle
Im Vergleich zum Bereich größer 0 liegen etwas mehr Differenzen aus Gewichtsalter und Knochenalter nach Greulich-Pyle im Bereich kleiner 0.

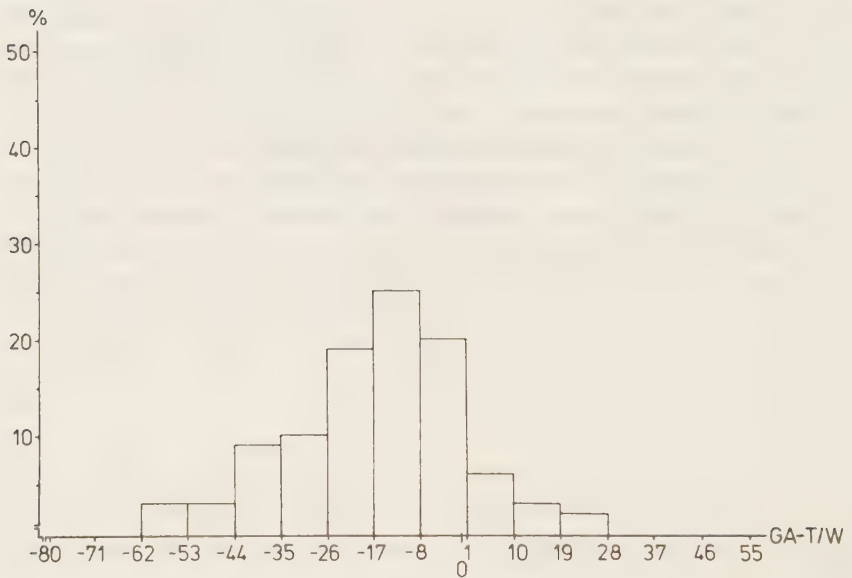


Abb. 30 : Häufigkeitsverteilung der Differenzen aus Gewichts-
alter und Knochenalter nach Tanner-Whitehouse
Im Unterschied zur Verteilung der Differenzen aus Ge-
wichts-
alter und Knochenalter nach Greulich-Pyle lie-
gen bedeutend mehr Werte im negativen Bereich.

Tab. 7

	Mittel- wert M	Intervall- breite in Mon.
Kal.-A. min. Kno.-A.n.G/P	+21,67	9
Kal.-A. min. Kno.-A.n.T/W	+ 9,77	9
Län.-A. min. Kno.-A.n.G/P	- 4,87	6
Län.-A. min. Kno.-A.n.T/W	-16,26	6
Gew.-A. min. Kno.-A.n.G/P	- 5,20	8
Gew.-A. min. Kno.-A.n.T/W	-16,30	9

Eine abgekürzte Methode nach Greulich-Pyle
im Vergleich zur Originalmethode

In Anlehnung an den Vergleich von Roche et al. (46) zwischen der Methode nach Tanner-Whitehouse und einer von ihm modifizierten Methode nach Greulich-Pyle interessierte uns die einfachste Variationsmöglichkeit der Greulich-Pyle'schen Methode.

Tab. 8

Knaben

Kal.-A. (Monate)	gleiches Ergebnis	größer als Originalwert	kleiner als Originalwert
0-50	47	1	10
50-100	94	0	13
100-150	86	2	13
> 150	12	0	2
gesamt	239	3	38

ohne Ergeb-
nis: 40

Mädchen

Kal.-A. (Monate)	gleiches Ergebnis	größer als Originalwert	kleiner als Originalwert
0-50	52	0	8
50-100	63	0	8
100-150	32	1	0
> 150	11	0	2
gesamt	158	1	18

ohne Ergeb-
nis: 22

Während Roche bei seinem Vergleich den 2. und 4. Finger unberücksichtigt ließ und die anderen Knochenkerne in ähnlicher

Weise wie bei Tanner-Whitehouse wichtete, ermittelten wir den Zentralwert nach Greulich-Pyle nur durch Weglassen des 2. und 4. Fingers. Beim Vergleich der Zentralwerte aus der abgekürzten Methode und der Originalmethode nach Greulich-Pyle ergaben sich die in Tabelle 8 zusammengestellten Werte, aufgeteilt für die Kalenderalterabschnitte 0 - 50, 50 - 100, 100 - 150 und größer 150 Monate.

In den insgesamt 62 Fällen, in denen kein Zentralwert angegeben werden konnte, waren teilweise nicht alle Knochenkerne auf der Aufnahme zu identifizieren, zum Teil waren die Knochen übereinanderprojiziert oder durch fehlerhafte Aufnahmetechnik nicht die ganze Hand abgebildet bzw. es waren die Finger nicht gestreckt, was in jedem Fall eine Auswertung nicht zuließ.

Es zeigte sich bei Knaben und Mädchen ein ungefähr gleiches Bild. Die Fälle, in denen der Zentralwert nach der abgekürzten Methode (Z') größer als der Originalwert (Z) war, fallen mit 1,07% bei den Knaben und 0,56% bei den Mädchen kaum ins Gewicht. Der Anteil der Fälle, in denen Z' kleiner als Z war, belief sich bei den Knaben auf 13,57%, bei den Mädchen auf 10,17%. Der weitaus größte Teil zeigt Übereinstimmung. 85,36% der Knaben und 89,27% der Mädchen wurden jeweils gleich alt eingeschätzt. Die Prozentangaben beziehen sich auf die Gesamtzahl bei Knaben und Mädchen (280 bzw. 177), die Fälle ohne Ergebnis wurden nicht mitgezählt.

DISKUSSION

Ein Ergebnis dieser Arbeit ist es, daß bei den untersuchten Kindern das Knochenalter nach der Methode von Tanner-Whitehouse höher eingeschätzt wird als nach der von Greulich-Pyle.

Von Roche et al. (46) wurde ebenfalls ein Vergleich der beiden Methoden durchgeführt. Im Unterschied zu unserem Patientengut, das aus minderwüchsigen Kindern bestand, untersuchte Roche ein Kollektiv aus gesunden, normal entwickelten und hauptsächlich in Melbourne geborenen Kindern englischer Abstammung.

Roche kam zu dem Ergebnis - wie auch wir bei unserem Kollektiv - daß das Knochenalter von Tanner-Whitehouse höher eingeschätzt wird als von Greulich-Pyle. Dies kann verschiedene Gründe haben.

Einmal besteht die Möglichkeit, daß englische Kinder tatsächlich langsamer reifen als amerikanische, zum zweiten kann die Ursache im methodischen Unterschied selbst liegen.

Im ersten Punkt wird ein ganz wesentliches Problem angesprochen, nämlich das der anderweitigen Anwendbarkeit und Übertragbarkeit von Methoden zur Knochenalterbestimmung auf Populationen, die sich von der, an der die Methode entwickelt wurde, unterscheiden.

Das Problem einer allgemein gültigen Standardgewinnung wird von mehreren Autoren angesprochen (Garn, Silverman, Rohmann [16], Tanner[59], Lee, Rohmann, Wiggins[37]). Die Probleme liegen dabei in genetischen Unterschieden als familiären Besonderheiten, in Rassenunterschieden und in der Gleichzeitigkeit (Standardgewinnung - Anwendung) begründet.

Christie (zit.n. Garn[22]) sowie Kelly und Reynolds (zit.n. Garn[22]) fanden, daß einige Ossifikationszentren bei amerikanischen Negern im Vergleich zu weißen amerikanischen Kindern vorseilen. Dasselbe gilt für Indianer, amerikanische und ostafrikanische Neger sowie Chinesen in Bezug auf Zahnentwicklung und -durchbruch (Garn[22]). Derselbe Autor fordert daher die Anwendung speziell erarbeiteter Standards für die zu untersuchende Population. Roche (46) empfiehlt

die kritische Überprüfung von Methode und Population. Tanner (61) nahm - obwohl noch keine Vergleiche existierten - schon vor Veröffentlichung seiner ersten Methode an, daß die Knochenreifung bei amerikanischen Kindern wohl im Vergleich zu englischen Kindern beschleunigt sei.

Die Schwierigkeit der Gleichzeitigkeit liegt darin begründet, daß in unserem Jahrhundert eine steigende Tendenz zu früherer Reife besteht (Garn, Silverman, Rohmann [16]).

Da anzunehmen ist, daß eine engere Beziehung zwischen der Entwicklung englischer und deutscher Kinder besteht als zwischen der deutscher und amerikanischer, wäre in unserem Fall die Methode nach Tanner-Whitehouse vom Gesichtspunkt der möglichst gleichen Population her als die zutreffendere Methode zu bezeichnen. Es ließe sich mit dieser Annahme die Aussage machen, daß nach Greulich-Pyle das Knochenalter übertrieben zurückgeblieben erscheint, während nach Tanner-Whitehouse die der Population angepaßte Retardierung zum Ausdruck kommt. Hätte man minderwüchsige Kinder aus Melbourne zu untersuchen, ist anzunehmen, daß die Methode nach Greulich-Pyle die zutreffendere wäre, da hier Tanner-Whitehouse bei normalen, gesunden Kindern zu hoch einschätzen (Roche [46]).

Was die methodischen Unterschiede angeht, kam Roche (46) zu dem Ergebnis, daß die Knochenalterbestimmung nach Greulich-Pyle die genauere Methode sei.

Roche leitet diese Aussage von der größeren Variabilität der Knochenalterbestimmung nach Tanner-Whitehouse, also der größeren Schwankungsbreite der Knochenalterwerte, im Vergleich zur Methode nach Greulich-Pyle her.

Als Maß für diese Variabilität gibt er die Beziehung

$\frac{P_{90} - P_{10}}{P_{50}}$, bezogen auf das Knochenalter, an. Der Abstand

zwischen der 10. und der 90. Percentile, also zwischen den Knochenalterwerten, die über alle Altersklassen hinweg 80% aller vorkommenden Knochenalterwerte nach oben und unten abgrenzen, wäre demnach bei Tanner-Whitehouse größer. Dies kommt einer stärkeren Streuung der Werte gleich, was wiederum eine größere Ungenauigkeit bzw. verminderte Treffsicherheit der Methode zur Folge hat.

Diese Beobachtung kann von uns an unserem Patientengut nicht bestätigt werden.

Der Korrelationskoeffizient für den Zusammenhang zwischen Kalenderalter und Knochenalter nach Tanner-Whitehouse ist mit 0,952 sogar geringfügig größer als der für die Beziehung Kalenderalter - Knochenalter nach Greulich-Pyle mit 0,944.

Während Roche (46) eine Änderung der Differenzen aus Kalenderalter und Knochenalter nach Tanner-Whitehouse in Abhängigkeit vom Kalenderalter feststellen konnte, wogegen die Differenzen aus Kalenderalter und Knochenalter nach Greulich-Pyle weitgehend um Null schwankten, können Acheson et al. (2) keine derartige Abhängigkeit angeben.

Ein Vergleich der Medianwerte des Knochenalters in Abhängigkeit vom jeweiligen Kalenderalter konnte die Angaben von Roche, allerdings in etwas anderer Form, bestätigen. Es ergibt sich eine mittlere Differenz aus Kalenderalter und Knochenalter nach Greulich-Pyle von 21,63 Monaten im Vergleich zu Tanner-Whitehouse mit 11,33 Monaten. Eine Abhängigkeit der Differenzen vom Kalenderalter ist bei beiden Methoden zu beobachten, die Abweichung von der Null-Differenz ist allerdings in unserem Fall bei Greulich-Pyle größer als bei Tanner-Whitehouse.

Die folgende Tabelle gibt eine Übersicht über die Median-

werte der Knochenalter nach beiden Methoden bei bestimmten Kalenderaltern sowie die Unterschiede zum Kalenderalter; Abbildung 31 stellt die Verhältnisse graphisch dar.

Tab. 9

Kal.-A. (Monate)	Kno.-A.n.G/P	Diff.	Kno.-A.n.T/W	Diff.
20	17,33	2,67	23,00	-3,00
40	32,86	7,14	35,71	4,29
60	44,00	16,00	49,69	10,31
80	57,45	22,55	76,91	3,09
100	74,00	26,00	83,33	16,67
120	102,60	17,40	106,20	13,80
140	107,70	32,30	126,30	13,70
160	124,50	35,50	139,00	21,00
180	152,00	28,00	155,30	24,70

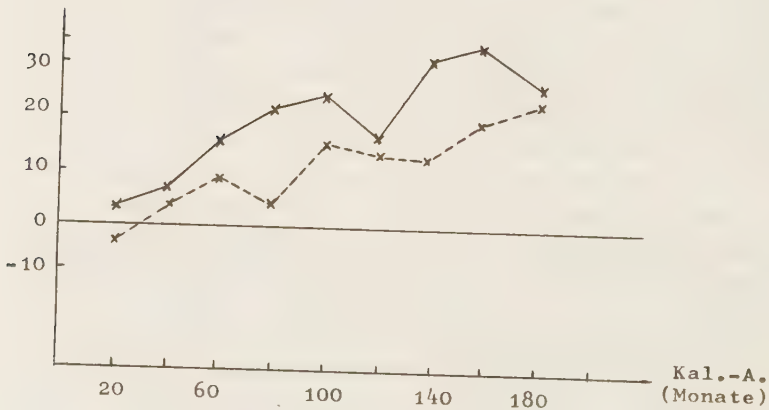


Abb. 31 : Differenzen aus Kalenderalter und Medianwerten der Methodenalter gegen Kalenderalter
 ----- Tanner-Whiteh.; — Greulich-Pyle

Eine Möglichkeit, die kleineren Knochenalterwerte nach Greulich-Pyle im Vergleich zu Tanner-Whitehouse von methodischen Unterschieden her zu erklären, bietet sich unserer Meinung nach durch die Abstufung der Standards und des Gesamtknochenalters der Hand bei der Knochenalterschätzung nach Greulich-Pyle.

Da keine Zwischenwerte angenommen werden können, ist man gezwungen, immer den Standard auszuwählen, der erreicht oder auch überschritten ist, solange der nächsthöhere Standard noch nicht erreicht ist. Die bei der Auswertung der Röntgenbilder oft zu beobachtenden Formveränderungen der Knochenkerne, die abweichend von der im Atlas in Skizzenform dargestellten Entwicklungsstufe nur im Sinne einer Weiterentwicklung gedeutet werden konnten, mußten mit dem an sich bereits durchlaufenen Standard bewertet werden, wenn der nächsthöhere Standard noch nicht erreicht war.

Da auch das Gesamtknochenalter der einzelnen Hand nur stufenförmig fortschreiten kann, läßt sich sagen, daß sicher in etlichen Fällen das Knochenalter methodisch bedingt zu niedrig angegeben wurde, da eben selbst bei offensichtlichen morphologischen Weiterentwicklungen einzelner Knochenkerne durch das Fehlen von Zwischenstufen immer nur der kleinere Standard gegeben werden konnte, weil der nächsthöhere noch nicht erreicht war.

Bei Tanner-Whitehouse scheidet diese Ungenauigkeit in der Knochenalterschätzung zumindest dadurch aus, daß das Gesamtknochenalter der Hand kontinuierlich alle Alterswerte durchlaufen kann.

Da im Vergleich zu den Ergebnissen in der Literatur an normalwüchsigen Kindern keine grundsätzlichen Abweichungen zwischen beiden Methoden bei der Anwendung an minderwüchsigen Kindern festgestellt werden konnten, stellt sich die Frage, ob dies von vornherein zu erwarten war.

Allgemein bestehen bis auf die zeitliche Verschiebung bei der konstitutionellen Entwicklungsverzögerung keine qualitativen Reifungsunterschiede zwischen minderwüchsigen und normalwüchsigen Kindern. Auffällige Reifungsatypien in der Knochenkernentwicklung der Hand konnten auch von uns nicht beobachtet werden, zumal der normale Ossifikationsspielraum ohnehin schon sehr groß ist.

Ein Unterschied zwischen beiden Methoden wäre dann zu erwarten gewesen, wenn diese in ungleicher Weise absolute Größenangaben bei der Beschreibung der einzelnen Entwicklungsstufen der Knochenkerne machen würden, da dies gerade beim minderwüchsigen Kind zu erheblichen Differenzen führen kann. Dies ist jedoch nicht der Fall. Beide Methoden gebrauchen zwar Größenangaben, diese sind aber immer nur relativ, d.h. bezogen auf andere Knochenkerne der Hand. So wird z.B. die transversale Ausdehnung bestimmter Epiphysen (Radius-, Ulna-, Fingerepiphysen) ohne Angabe von Maßeinheiten relativ zur Ausdehnung des zugehörigen Diaphysenschaftes angegeben, ebenso werden (z.B. beim Capitatum) diagonaler Durchmesser und Längsdurchmesser miteinander verglichen.

Beide Methoden machen in gleicher Weise relative Größenangaben. Somit scheidet diese mögliche Ursache für eventuell zu erwartende Unterschiede zwischen beiden Methoden bei der Anwendung an minderwüchsigen Kindern im Vergleich zu normalwüchsigen Kindern aus.

Mit einer abgekürzten Form der Methode nach Greulich-Pyle, die durch Herausnehmen des 2. und 4. Fingers die wohl einfachste Modifikation darstellt, konnte in 85,36% (Knaben) bzw. 89,27% (Mädchen) der Fälle Übereinstimmung mit den Originalzentralwerten erzielt werden. In den Fällen mit unterschiedlichem Ergebnis lag der Zentralwert der abgekürzten Methode fast durchweg unter dem Originalwert, was

darauf hinweist, daß gerade der 2. und 4. Finger das Knochenalter anheben. Die gute Korrelation in der Entwicklung der Phalangen läßt den Schluß zu, daß niedrigere Einzelknochenalterwerte, die nach Weglassen des 2. und 4. Fingers zur Senkung des Gesamtknochenalters führen, nur noch von den Carpalia bzw. der Radius- oder Ulnaepiphyse stammen können.

Der Fehler in der Bewertung liegt bis zum Kalenderalter von 50 Monaten zwischen 14% und 20% und sinkt dann bis zum Kalenderalter von 180 Monaten auf 9% ab. Die absoluten Werte liegen zwischen 3 und 12 Monaten.

Ob es für die klinische Praxis sinnvoll ist, auf die Bewertung des 2. und 4. Fingers zu verzichten und dafür die relativ hohe Irrtumsrate in Kauf zu nehmen, kann hier nicht beantwortet werden, zumal die Erprobung der abgekürzten Variante der Methode nach Greulich-Pyle an einem zu speziellen Patientenkreis erfolgte.

Da von uns die Methode Tanner-Whitehouse I benutzt wurde, erhebt sich die Frage, inwieweit sich das Ergebnis bei Verwendung der Methode Tanner-Whitehouse II verändern würde. Die wesentlichen Unterschiede zwischen Tanner-Whitehouse I und Tanner-Whitehouse II sind folgende :

1. Um der Schwierigkeit, das Erwachsenenstadium zu definieren, auszuweichen, wurde bei den Carpalia bis auf Hama und Muma, wo dies relativ eindeutig möglich ist, Stufe I weggelassen.
2. Da der Epiphysenschluß bei Repi und Ulnepi, speziell aber bei Repi, sich über einen ziemlich langen Zeitraum hinzieht, wurde auf Stufe J bei Repi und Stufe I bei Ulnepi verzichtet.
3. Die Wichtung der Einzelknochen blieb die gleiche, es kam

jedoch bei Tanner-Whitehouse II die Möglichkeit der Schätzung an Hand nur der Carpalia oder aber der sog. RUS-bones (Repi, Ulnepi und short bones, also der Fingerepiphysen) hinzu.

4. In der Score-Bewertung der Stufen (stages) wird jetzt der Geschlechtsunterschied berücksichtigt, der nach Tanner - Whitehouse II (60) hauptsächlich von Repi, Ulnepi und den Fingerepiphysen herrührt.
5. Das Kollektiv zur Gewinnung der Standards wurde auf das Lebensalter bis zu 21 Jahren ausgeweitet, da bei Tanner-Whitehouse I dieser Bereich zu schwach besetzt war.
6. Das Endalter liegt für Knaben bei 18 (T.W.I 19), für Mädchen bei 16 (T.W.I 17) Jahren.

Inwieweit sich das Ergebnis im Vergleich zur Methode Tanner-Whitehouse I bei Verwendung von Tanner-Whitehouse II ändern würde, kann nur durch einen entsprechend ausführlichen Vergleich festgestellt werden. Es läßt sich jedoch vermuten, daß durch die Eliminierung von Stufe I bei Capi, Tri, Luna, Navi und Mumi eine Fehlerquelle ausgeschaltet wurde, die sich besonders bei verschiedenen Auswertern unterschiedlich bemerkbar macht und das Ergebnis jeweils in eine bestimmte Richtung tendieren läßt. Mehr noch stößt die Beurteilung des Epiphysenschlusses auf Schwierigkeiten, was durch eigene Erfahrung beim Auswerten unseres Patientenmaterials nur bestätigt werden kann, zumal röntgenologische Kriterien für die "Verschmelzung der Epiphysenfuge" weit von einer verbindlichen Definition entfernt sind (Garn et al. [16]).

Die Herabsetzung des Endalters auf 18 Jahre bei Knaben bzw. 16 Jahre bei Mädchen würde die relativ zu kleine Einschätzung des Knochenalters bei endalternahen Kalender- bzw. Knochenalterwerten, wie sie in unserem Fall im Vergleich zu Greulich-Pyle zu beobachten war, noch verstärken.

Es stellt sich die weiter oben schon angeklungene Frage, in-

wiefern mögliche Fehler bei der Auswertung einen Einfluß auf das Ergebnis der Untersuchung ausgeübt haben.

Von Mainland (38) wurde eine Untersuchung über Fehlermöglichkeiten bei der Auswertung von Röntgenbildern der Hand zur Knochenalterschätzung angestellt. Er unterscheidet zwei Arten von Fehlern :

1. Den systematischen, der als "individueller" Fehler bei jedem Auswerter konstant bleibt und evtl. auch als Voreingenommenheit und auswerterspezifisch zu bezeichnen wäre. Die solchermaßen sich ergebenden Unterschiede zwischen zwei Auswertern sind konstant und durch eine Standardabweichung zu kennzeichnen.
2. Den zufälligen Fehler, der sich in unterschiedlichen Ergebnissen bei mehrmaliger Auswertung desselben Röntgenbildes durch einen Auswerter ausdrückt, wobei der Auswerter von seiner vorangegangenen Stellungnahme nichts weiß ("independent assessment").

Der systematische Fehler bei der Auswertung von Röntgenbildern durch einen Laien nach den Methoden von Todd und Greulich-Pyle war verschieden groß (Mainland [38]). In einer Aufstellung gibt Mainland (39) mögliche Ursachen für zufälligen und systematischen Fehler an, wobei ersterer unabhängig von Methode, Alter des Kindes, Geschlecht, Ungleichheit verschiedener Hände sowie Filmunterschieden war, während letzterer nach einem Jahr Pause bei der Versuchsperson, die Mainland zum Auswerten benutzte, um drei Monate größer war als im geübten Zustand.

Bayley und Pinneau (4) geben die Empfehlung, zur Vermeidung von Fehlern dieselbe Person wiederholt schätzen zu lassen bzw. mehrere Personen einzusetzen. Roche et al. (47,48) geben den Fehlerspielraum erfahrener Auswerter bei Verwendung der Methode nach Greulich-Pyle mit 3 bis 4 Monaten bei wiederholter Auswertung desselben Bildes an. Die Genauigkeit

der Knochenalterschätzung wird nach Ansicht von Graham (24) bei Miteinbeziehung der Carpalia nur verschlechtert.

In unserem Fall wurde die Auswertung der Röntgenbilder auf fünf Personen verteilt. Erhebliche Pausen im Verlauf der Auswertung aller Röntgenaufnahmen traten nicht ein. Es ist daher anzunehmen, daß der durchschnittliche systematische Fehler relativ klein anzusetzen ist, wenn man nicht annimmt, daß alle fünf Auswerter den gleichen systematischen Fehler begingen. Dies erscheint unwahrscheinlich. Da die Aufteilung der Röntgenbilder in ungeordnetem, nicht nach Kalenderalter sortiertem Zustand erfolgte, fällt die Konzentrierung eines systematischen Fehlers auf bestimmte Kalenderalterabschnitte weg.

Interessant ist die Feststellung, daß bestimmte Einzelknochenaltersequenzen im Röntgenbild einer Hand bei Greulich-Pyle von verschiedenen Auswertern unabhängig voneinander in der gleichen Weise angegeben wurden.

Dies war der Fall für Tele 1, 3, 5 (Sequenz 132, 84, 108 Monate) und Meso 3, 5 (Sequenz 54, 84 Monate) bei den Knaben. Bei den Mädchen konnte man entsprechend die Reihenfolge 120, 60, 69 Monate für Tele 1, 3, 5 beobachten. Da bei unabhängiger Auswertung die gleichsinnige tendenziöse Einstellung der verschiedenen Auswerter die unwahrscheinlichere Möglichkeit darstellt, scheint uns zutreffender, daß tatsächlich vorhandene Charakteristika in der Knochenreifung der minderwüchsigen Kinder ziemlich objektiv erfaßt wurden.

Eine mögliche Fehlerquelle stellt allerdings noch die unserer Meinung nach unterschiedliche Genauigkeit der Anleitung zu den beiden Methoden dar.

Die Anleitung zur Knochenalterschätzung nach Greulich-Pyle gibt im Gegensatz zu Tanner-Whitehouse, wo nur ein Score-Wert pro Geschlecht vorhanden ist, für jede Entwicklungsstufe zwei Standards zur Auswahl an. Ist keiner von beiden

Standards fettgedruckt, so ist es dem Auswerter überlassen, für welchen von beiden Werten er sich entscheidet.

Dies führt zweifellos zu Unsicherheiten vor allem des Ungewöhnlichen und damit zu Ungenauigkeiten bei der Knochenalterbestimmung nach Greulich-Pyle.

Eine zusätzliche Fehlerquelle ist bei der Methode nach Greulich-Pyle darin zu suchen, daß manche offensichtlich im Röntgenbild der Hand vorhandenen Formausbildungen der einzelnen Knochenkerne nicht bewertet werden können, weil sie im Atlas nicht erscheinen. Es "tut sich" im Atlas nichts, obwohl im Röntgenbild häufig eindeutige Weiterentwicklungen zu beobachten sind, manchmal liegen beim Vergleich von chronologisch fortlaufenden Röntgenaufnahmen einer Hand mit den Standards im Atlas sogar rückläufige Entwicklungen vor.

An dieser Stelle sei noch vermerkt, daß die einzelnen Beurteilungskriterien zu den Stages nach Tanner-Whitehouse im Gegensatz zu Greulich-Pyle ausführlicher, exakter und detaillierter sind, was vor allem die Fehlermöglichkeit bei verschiedenen Auswertern vermindert.

Zum Schluß sei noch die Ungenauigkeit der Knochenalterbestimmung nach Greulich-Pyle genannt, die sich aus der Abstufung der Werte ergibt, während die Fehlermöglichkeit bei Tanner-Whitehouse durch ein kontinuierliches Durchlaufen aller Knochenalterwerte doch erheblich geringer erscheint, da die Treffsicherheit bei Berücksichtigung aller Zwischenwerte wesentlich erhöht wird.

Beim Vergleich der Knochenalter nach den beiden Methoden mit dem Kalenderalter ergab sich jeweils für einen verschiedenen großen Teil der Kinder ein Knochenalter, das über dem Kalenderalter lag bzw. mit diesem gleich war. Da unser Patientengut von der körperlichen Entwicklung her als minderwüchsig zu bezeichnen ist, scheint hier ein Widerspruch

vorzuliegen. Zumindest der Teil, der mit dem Kalenderalter gleich liegt, könnte damit erklärt werden, daß es sich bei ihnen nicht um eine konstitutionelle Entwicklungsverzögerung, sondern um einen primordialen Minderwuchs handelt, da eine Übereinstimmung des Knochenalters mit dem Kalenderalter in diesem Fall die Regel wäre (Prader [40], Teller [64]). Für die über dem Kalenderalter liegenden Knochenalterwerte ließe sich eine Erklärung dahingehend finden, daß es sich um extreme Längenwachstumsverzögerungen mit mehr oder weniger stark beschleunigter Knochenkernentwicklung handelt. Garn et al. (16) geben folgenden normalen Spielraum des Erscheinungsalters von Knochenkernen der Hand an :

	Kalenderalter	
	Knaben	Mädchen
± 3- 6 Monate	0 - 1 Jahr	0 - 1 Jahr
± 1 - 1,5	3 - 4 Jahre	2 - 3 Jahre
± 2 Jahre	7 -11 Jahre	6 -10 Jahre
± 2 Jahre	13 -14 Jahre	12 -13 Jahre

Garn und Rohmann (19) berichten über ganz erhebliche Abweichungen von der normalen Ossifikationsreihenfolge und dem durchschnittlichen Ossifikationszeitpunkt bei Kindern, die in keiner Weise in ihrer Entwicklung gestört waren. Zu erwähnen ist noch, daß sich nach Garn, Rohmann und Blumenthal (23) eine unterschiedliche Erscheinungsreihenfolge verschiedener Knochenkerne besonders stark bei Wachstumsverzögerungen zeigt, jedoch nicht in ursächlichem Zusammenhang, sondern weil hier quasi alles in Zeitlupe abläuft und individuelle Verschiedenheiten deshalb leicht zu erkennen sind. Es ließe sich in unserem Fall eine Entwicklungsvariante den-

ken, die im Größenwachstum zwar retardiert ist, in der Knochenkernentwicklung jedoch leicht beschleunigt erscheint. Eventuell wäre an familiäre Besonderheiten zu denken, worauf sich auch die Empfehlung von Garn (22) bzw. Garn und Rohmann (18) gründet, mehr Gewicht auf familientypische Abweichungen zu legen bzw. familien- oder elternkorrigierte Standards zu verwenden, um falsche Einschätzungen bei Wachstumsextremen Kindern zu vermeiden.

Insgesamt kann gesagt werden, daß sich die Beobachtungen anderer Autoren über die Einschätzung des Knochenalters nach Greulich-Pyle und Tanner-Whitehouse an normalen Kindern bei minderwüchsigen Kindern weitgehend bestätigen ließen.

ZUSAMMENFASSUNG

Mit Hilfe von Röntgenaufnahmen der Hand wurden bei 519 minderwüchsigen Kindern (320 Knaben und 199 Mädchen) Knochenalterschätzungen nach den Methoden von Greulich-Pyle und Tanner-Whitehouse vorgenommen und miteinander, sowie mit dem Kalenderalter, dem Längenalter und dem Gewichtsalter verglichen.

Es wurden beim Vergleich nur linke Hände verwendet, da die Zahl der rechten Hände mit nur 22 Aufnahmen im Unterschied zu 497 linken Händen für eine statistische Aus-

wertung zu klein war.

Das Patientengut bestand aus minderwüchsigen Kindern, wobei mit Sicherheit gesagt werden kann, daß der vorhandene Minderwuchs nicht von Störungen im endokrinen System verursacht war. Es lagen somit die beiden Formen des nicht endokrin bedingten Minderwuchses als konstitutionelle Entwicklungsverzögerung und als konstitutioneller Minderwuchs gemischt vor. Da es sich bei dieser Arbeit um eine Querschnittsuntersuchung handelt, war eine Unterscheidung der beiden Formen nicht möglich.

Es wurde die Verteilung der jeweiligen Gesamtknochenalter und des Längenalters dargestellt, wobei zu beobachten war, daß im Vergleich zur positiv-schiefen Verteilung des Kalenderalters eine verhältnismäßig stärkere positive Schiefe bei der Verteilung der Knochenalter nach Greulich-Pyle und Tanner-Whitehouse vorlag, die jedoch vom Längenalter noch deutlich übertroffen wurde.

Dies hat seinen Grund darin, daß im Patientengut bei einem Großteil der Kinder eine konstitutionelle Entwicklungsverzögerung vorlag, bei der das Knochenalter im Vergleich zum Kalenderalter retardiert ist; beim Längenalter ist die beobachtete Verteilung Ausdruck dafür, daß die für diese Untersuchung ausgewählten Kinder alle eine Körperlänge $<P_3$ aufwiesen.

An Hand der Häufigkeitsverteilungen der Einzelknochenstandards nach Greulich-Pyle und der stages nach Tanner-Whitehouse konnte eine grobe Beziehung zwischen der Gesamtknochenalterverteilung und den Verteilungen der Einzelknochenkerne hergeleitet werden.

Durch Vergleiche der beiden Methodenalter mit dem Kalenderalter und dem Längenalter sowie dem Gewichtsalter ließ sich einerseits feststellen, daß die Korrelation zwischen den ver-

schiedenen Vergleichsgrößen mit Korrelationskoeffizienten nahe an 1 gut war, d.h., daß eine ziemlich eindeutige Zuordnung der Knochenalterwerte zu den Kalender-, Längen- und Gewichtsalterwerten und umgekehrt möglich ist.

Zum anderen konnten wir beobachten, daß das Knochenalter nach beiden Methoden in der Mehrzahl der Fälle unter dem Kalenderalter lag, wobei die Knochenalterwerte nach Tanner-Whitehouse größer waren als die nach Greulich-Pyle, d.h., daß also die untersuchten minderwüchsigen Kinder nach der Methode Tanner-Whitehouse mit einem höheren Knochenalter eingeschätzt wurden als nach der Methode Greulich-Pyle.

Beim Vergleich der Knochenalterwerte mit dem Längenalter und dem Gewichtsalter ergab sich das entgegengesetzte Bild. Hier lagen die meisten Längen- und Gewichtsalterwerte unter dem Knochenalter nach beiden Methoden.

Beim Vergleich der Knochenalter nach den beiden Methoden untereinander zeigte sich, daß die Beziehung der beiden Knochenalter über alle Altersgruppen hinweg nicht gleichbleibend ist. In verschiedenen Altersabschnitten schätzen die beiden Methoden das Knochenalter unterschiedlich ein, was unserer Ansicht nach nicht im Patientengut, sondern in ganz bestimmten Unterschieden der beiden Methoden begründet sein muß.

Durch den Vergleich der Zentralwerte der Originalmethode nach Greulich-Pyle mit einer abgekürzten Methode, bei der der 2. und 4. Finger nicht berücksichtigt wurden, stellten wir die sich ergebende Abweichung fest. Bei Knaben war in 85,36% der Fälle Übereinstimmung vorhanden, bei Mädchen waren es 89,27%.

An Hand der Ergebnisse beider Methoden wurde die Beziehung

zu Befunden an normalwüchsigen Kindern sowie eine eventuelle Abweichung der Ergebnisse bei Verwendung der Methode Tanner-Whitehouse II diskutiert. Mögliche Fehler bei der Auswertung der Röntgenaufnahmen wurden in Erwägung gezogen, insbesondere wurde die unterschiedliche Fehlermöglichkeit bei beiden Methoden erörtert, wobei unserer Meinung nach die Methode nach Tanner-Whitehouse sich durch größere Exaktheit auszeichnet.

Insgesamt läßt sich Folgendes feststellen :

Unterschiede zwischen beiden Methoden bei der Knochenalterschätzung an minderwüchsigen Kindern im Vergleich zu Schätzungen an normalwüchsigen Kindern waren nicht zu erwarten. Dies hat zwei Gründe.

Erstens bestehen in den grundlegenden Prozessen der Knochenreifung keine Unterschiede zwischen normal- und minderwüchsigen Kindern sondern bestenfalls zeitliche Verschiebungen, und dies wiederum nur bei der konstitutionellen Entwicklungsverzögerung.

Zweitens werden von beiden Methoden nur relative Größenangaben, bezogen auf benachbarte Knochenkerne und ohne Verwendung von Maßeinheiten, benutzt. Absolute Größenangaben in Maßeinheiten könnten insbesondere beim Minderwuchs zu erheblichen Abweichungen der beiden Methoden führen, vorausgesetzt, daß diese Größenangaben bei den Methoden voneinander verschieden wären.

Ein Nachteil der Methode nach Greulich-Pyle ist es, daß das Knochenalter im Gegensatz zu Tanner-Whitehouse nur stufenweise fortschreiten kann, was zu erheblichen Ungenauigkeiten besonders bei der Knochenalterschätzung an einzelnen Kindern führen kann. Ein weiterer Nachteil ist

eine Fehlermöglichkeit, die speziell bei verschiedenen Auswerten ins Gewicht fällt. Sie ergibt sich daraus, daß die Methode nach Greulich-Pyle dem Auswerter pro Geschlecht für einen Reifeindikator jeweils zwei Standards zur Auswahl läßt.

Demgegenüber sind als Vorteile der Methode Tanner-Whitehouse das kontinuierliche Durchlaufen aller Knochenalterbereiche und die daraus resultierende größere Genauigkeit der Knochenalterschätzung sowie die exaktere Anleitung zum Gebrauch der Methode hervorzuheben. Bis zu drei verschiedene morphologische Kriterien ermöglichen eine genaue Beurteilung der jeweiligen Entwicklungsstufe des einzelnen Knochenkerns.

Ein oft zitierter vermehrter Arbeitsaufwand bei der Knochenalterschätzung nach Tanner-Whitehouse im Vergleich zu Greulich-Pyle kann von uns nicht bestätigt werden.

Insbesondere die Methode Tanner-Whitehouse II bietet durch die Möglichkeit der Knochenalterbestimmung unter Verwendung nur der Carpalia oder nur der sog. RUS - bones eine wesentlich kürzere Variante im Vergleich zur bone-by-bone Methode nach Greulich-Pyle.

Obwohl Unterschiede zwischen beiden Methoden bezüglich der Auswerttechnik, der Genauigkeit und der praktischen Anwendung bestehen, kann man doch sagen, daß die Knochenalterschätzung nach Greulich-Pyle und Tanner-Whitehouse vergleichbare Werte ergibt.

Ein Grund für die niedrigeren Knochenalterwerte nach Greulich-Pyle kann darin gesehen werden, daß das Knochenalter nach dieser Methode eben nur stufenförmig angegeben werden kann und Zwischenstufen nicht berücksichtigt werden. Zwischen zwei Standards liegende Formausbildungen einzelner Knochenkerne können immer nur den niedrigeren Standard erhalten, und zwar so lange, bis der nächsthöhere Standard

tatsächlich erreicht ist. Dies führt insgesamt dazu, daß das Gesamtknochenalter der Kinder zu niedrig angegeben wird. Bei Tanner-Whitehouse wird diese Fehlermöglichkeit durch die kontinuierliche Knochenalterwertaufteilung ausgeschlossen, da jeder Zwischenwert angenommen werden kann.

Da es sich in der Praxis im Gegensatz zu unserer Querschnittsuntersuchung meistens um Längsschnittuntersuchungen, also um individuelle Untersuchungen an einem einzelnen Kind handelt, wo ein kontinuierlicher Zuwachs vorliegt, erscheint uns die Methode Tanner-Whitehouse in diesem Fall geeigneter als die Methode Greulich-Pyle.

Zusammenfassend läßt sich sagen, daß beide Methoden anwendbar sind und zu vergleichbaren Ergebnissen führen. Die Verwendung beider Methoden ist bei minderwüchsigen Kindern ebenso möglich wie bei normalwüchsigen Kindern, auch lassen sich beim Minderwuchs keine andersgearteten Abweichungen der beiden Methoden voneinander feststellen als sie in der Literatur bei normalwüchsigen Kindern angegeben sind.

LITERATURVERZEICHNIS

- 1 Acheson, R. M.: A method of assessing skeletal maturity from radiographs. A report from the Oxford Child Health Survey.
J. Anat. (London) 88, 498 - 508 (1954)
- 2 Acheson, R. M., Vicinus, J. H., Fowler, G. B.: Studies in the reliability of assessing skeletal maturity from x - rays.
Part III : Greulich-Pyle atlas and Tanner-Whitehouse method contrasted.
Hum. Biol. 38, 204 - 218 (Sept. 1966)
- 3 Baldwin, B. T., Busby, L. M., and Garside, H. V.: Anatomic growth of children. A study for some bones of the hand, wrist and lower fore arm by means of roentgenograms.
Univ. of Iowa Studies. Studies in child welfare 4, Nr. 1 (1928)
- 4 Bayley, N., and Pinneau, S. R.: Tables for predicting adult height from skeletal age revised for use with the Greulich-Pyle hand standards. J. Pediat. 40, 423(1952)
- 5 Budliger, H., Prader, A., Morscher, E., Fendel, H. :
Rundtischgespräch über das Knochenalter. Der Radiologe, 11.Jg., Heft 8
(1971)
- 6 Campbell, R. C.: Statistische Methoden für Biologie und Medizin. Georg Thieme Verlag, Stuttgart (1971)

- 7 Carter, T. M.: Technique and Devices used in Radiographic Study of the Wrist Bones of Children. J. Educ. Psychol. 17 , 237 - 247 (1926)
- 8 Catell, P.: Preliminary Report on the Measurement of Ossification of the Hand and Wrist. Hum. Biol. 6, 454 - 471 (1934)
- 9 Dreizen, S., Snodgrasse, R. M., Webb-Peploe, H., Parker, G. S., and Spies, T. D.: Bilateral Symmetry of Skeletal Maturation in the Human Hand and Wrist. Am. J. Dis. Child. 93, 122 - 127 (1957)
- 10 Eklöf, O., and Ringertz, H.: A method for assessment of skeletal maturity. Ann. Radiol. 10, 330 - 336 (1967)
- 11 Elgenmark, O.: The normal development of the ossific centers during infancy and childhood: Clinical, roentgenologic, and statistical study. Acta Paediat.(Uppsala) , 33, 1 - 79 (1946)
- 12 Fendel, H.: Die Methodik der radiologischen Skeletalalterbestimmung. Der Radiologe , (im Druck)
- 13 Flecker, H.: Time of Appearance and Fusion of Ossification Centers as observed by Roentgenographic Methods. Am.J. Roentgen. 47, 97 - 159 (1942)
- 14 Garn, S. M., and Rohmann, Ch. G.: Communalities of the Ossification Centers of the Hand and Wrist. Amer.J.Phys.Anthrop. 17 , 319 - 323 (1959)

- 15 Garn, S. M., and Rohmann, Ch. G.: The Number of Hand-Wrist Centers. Amer.J.Phys.Anthrop. 18, 293 - 299 (1960)
- 16 Garn, S. M., Rohmann, Ch. G., and Silverman, F. N.: Radiographic Standards for Postnatal Ossification and Tooth Calcification. Med.Radiogr.and Photogr. Vol.Nr. 2, 45 - 66 (1967)
- 17 Garn, S. M., Silverman, F. N., and Rohmann, Ch. G.: A Rational Approach to the Assessment of Skeletal Maturation. Ann. Radiol. 7, 297 - 307 (1964)
- 18 Garn, S. M., and Rohmann, Ch. G.: Parent - Child Similarities in Hand - Wrist Ossification. Am.J.Dis.Child. Vol.Nr. 103, 603 - 607 (1962)
- 19 Garn, S. M., and Rohmann, Ch. G.: Variability in the Order of Ossification of the Bony Centers of the Hand and Wrist. Amer.J.Phys.Anthrop. 18, 219 - 230 (1960)
- 20 Garn, S. M., Lewis, A. B., and Kerewsky, R. S.: Genetic, National, and Maturational Correlates of Dental Development. J.Dent.Res. 44, 228 - 242 (1965)
- 21 Garn, S. M., Lewis, A. B., Koski, K., and Polacheck, D.L.: The Sex Difference in Tooth Calcification. J.Dent.Res. 37, 561 - 567 (1958)
- 22 Garn, S. M.: The Applicability of North American Growth Standards in Developing Countries. Can.Med.Ass.J. 93, 914-919 (1965)

- 23 Garn, S. M., Rohmann, Ch. G., and Blumenthal, T. :
Ossification Sequence Polymorphism
and Sexual Dimorphism in Skeletal De-
velopment. Amer.J.Phys.Anthrop. 24,
101 - 115 (1966)
- 24 Graham, C. B.: Assessment of Bone Maturation Me -
thods and Pitfalls. Radiol.Clin.
N.Amer. Vol 10, Nr. 2, 185-202(1972)
- 25 Grau, U., und Klaus, F.: Das Skeletalalter nach Tanner-
-Whitehouse und die sogenannte "kör-
perliche Schulreife". Prax. Kinder -
psychol. , 94 - 101 (1975)
- 26 Grau, U., und Klaus, F.: Skeletalalter und Schulleistun-
gen. Prax. Kinderpsychol. ,
146 - 155 (1975)
- 27 Greulich, W. W., Dorfman, R. I., Catchpole, H. R. ,
Solomon, C. I., and Culotta, C. S.:
Studies of Puberal and Adolescent
Boys. Society for Research in Child
Development Monographs, Nr. 3, Wa -
shington, D.C., National Research
Council (1942)
- 28 Greulich, W. W., and Pyle, S. I.: Radiographic Atlas
of Skeletal Development of the Hand
and Wrist. Stanford, Calif., Stan -
ford University Press (1950)
- 29 Greulich, W. W., and Pyle, S. I.: Radiographic Atlas
of Skeletal Development of the Hand
and Wrist. Ed. 2, Stanford, Calif.,
Stanford University Press (1959)

- 30 Greulich, W. W.: The Rationale of Assessing the Developmental Status of Children From Roentgenograms of the Hand and Wrist. Child Development 21, 33 - 44 (1950)
- 31 Hansman, Ch. F., and Maresh, M. M.: A Longitudinal Study of Skeletal Maturation. Am. J. Dis. Child. Vol. 101, 305-321 (1961)
- 32 Hoerr, N. L., Pyle, S. I., and Francis, C. C.: Radiographic Atlas of Skeletal Development of the Foot and Ankle. Charles C. Thomas, Springfield, Illinois (1962)
- 33 House, R. W.: A Summary of Forty-Nine Radiologists' Opinion on the Skeletal Age Limits of Apparently Normal Six-Year-Old Children. Amer. J. Roentgen. 64 , 442 - 445 (1950)
- 34 Knorr, D.: Therapie mit Sexualhormonen in der Pädiatrie. pädiat. prax. 1, 159-165 (1962)
- 35 Kunze, D., und Murken, J. D.: Diagnostik von Längsenalter und Gewichtsalter mit neuen Somatogrammen. Kinderarzt 5, 1077-1080 (1974)
- 36 Lauterstein, A. M.: A cross-sectional study in dental development and skeletal age. J. Amer. Dent. Ass. 62, 161 - 167 (1961)
- 37 Lee, M., Rohmann, Ch. G., and Wiggins, P.: Skeletal Maturity and Total Number of Ossification Centers Present in Hand and Wrist Radiograms of Chinese Children. Amer. J. Phys. Anthropol. 25, 202 (1966)

- 38 Mainland, D.: Evaluation of the Skeletal Age Method of Estimating Children's Development. I. Systematic Errors in the Assessment of Roentgenograms. J.Pediat. 12, 114 - 129 (1953)
- 39 Mainland, D.: Evaluation of the Skeletal Age Method of Estimating Children's Development. II. Variable Errors in the Assessment of Roentgenograms. J.Pediat. 13, 165 - 173 (1954)
- 40 Prader, A.: In: A. Labhart, Klinik der Inneren Sekretion. S. 20, Springer, Berlin-Göttingen-Heidelberg (1957)
- 41 Pryor, J. W.: Time of Ossification of the Bones of the Hand of the Male and Female and Union of Epiphysis with the Diaphysis. Amer.J.Phys.Anthrop. 8, 401 - 410(1925)
- 42 Pyle, S. I., and Hoerr, N. L.: Radiographic Atlas of Reference for the Growing Knee. Charles, C. Thomas, Springfield, Illinois (1969)
- 43 Pyle, S. I., and Sontag, L. W.: Variability in Onset of Ossification in Epiphysis and Short Bones of the Extremities. Amer.J.Roentgen. 49, 795 - 798 (1943)
- 44 Ranke, H.v.: Sitzungsprotokoll des ärztlichen Vereins München am 1.4.1896, Diskussionsbemerkung zum Vortrag Angerer: "Über die Verwertung der Roentgenschen Strahlen in der Chirurgie". Münch. med. Wschr. 43, 688 - 689(1896)

- 45 Robinow, M.: Appearance of Ossification Centers: Groupings Obtained from Factor Analysis. Am.J.Dis.Child. 64, 229-236, (1942)
- 46 Roche, A. F., Davila, G. H., and Eyman, S. L.: A Comparison Between Greulich-Pyle and Tanner-Whitehouse Assessments of Skeletal Maturity. Radiology 98, 273 - 280 (1971)
- 47 Roche, A. F., Davila, G. H., Pasternack, B. A., and Walton, M. J.: Some factors influencing the replicability of assessments of skeletal maturity(Greulich-Pyle). Amer.J.Roentgen. 109, 299-306 (1970)
- 48 Roche, A. F., Eyman, S. L., and Davila, G. H.: Skeletal age prediction. J.Pediat. 78, 997 - 1003 (1971)
- 49 Rotch, Th. M.: Chronologic and anatomic age in early life. J.Amer.Med.Ass. 51, 1197 - 1205 (1908)
- 50 Rotch, Th. M.: A study of the development of the bones in childhood by the Roentgen method with the view of establishing a developmental index for the grading of and the protection of early life. Trans.Amer. Assoc.Physicians 24, 603-630 (1909)
- 51 Sachs, L.: Statistische Methoden, Ein Soforthelfer. Springer, Berlin-Heidelberg-New York (1970)
- 52 Schmid, F., und Moll, H.: Atlas der normalen und pathologischen Handskelettentwicklung. Springer, Berlin-Göttingen-Heidelberg (1960)

- 53 Schulte-Brinkmann, W., und Konrad, R. M.: Zur Meßtechnik der Hand- und Fußwurzelknochen bei Kindern. Fortschr.Röntgenstr. 99, 544 - 550 (1963)
- 54 Schulte-Brinkmann, W., Konrad, R. M., und Ehlers, F.: Vergleichende Untersuchungen zur linearen und planimetrischen Messung von Handwurzelknochen. Fortschr.Röntgenstr. 104, 253 - 258 (1966)
- 55 Sontag, L. W., Snell, D., and Anderson, M.: Rate of Appearance of Ossification Centers from Birth to the Age of Five Years. Am.J.Dis.Child. 58, 949-956 (1939)
- 56 Stuart, H.C., Pyle, S. I., Cornoni, J., and Reed, R.B.: Onsets, Completions, and Spans of Ossification in the 29 Bone-Growth Centers of the Hand and Wrist. J.Pediat. 29, 237 - 249 (1962)
- 57 Stuart, H. C., and Stevenson, S. S.: In: W.E.Nelson, Textbook of Pediatrics, 7. Auflage, S. 45/46
- 58 Sutow, W. W., Terasaki, T., and Ohwada, K.: Comparison of Skeletal Maturation With Dental Status in Japanese Children. J.Pediat. 14, 327 - 333 (1954)
- 59 Tanner, J. M., Whitehouse, R. H., and Healy, M. J. R.: Standards for Skeletal Age. A new system for estimating skeletal maturity from hand and wrist radiographs with standards derived from a study of 2.100 healthy British children. International Children's Centre, Paris(1962)

- 60 Tanner, J. M., Whitehouse, R. H., and Goldstein, H.:
A new system for estimating skeletal maturity from hand and wrist radio - graphs with separate standards for carpal and other bones. International Children's Centre, Paris (1972)
- 61 Tanner, J. M.: The Assessment of Growth and Development in Children. Arch.Dis.Childh. 27, 10 - 33 (1952)
- 62 Tanner, J. M., Whitehouse, R. H., and Takashi, M.: Standards from Birth to Maturity for Height, Weight, Height Velocity, and Weight Velocity: British Children 1965 - I. Arch.Dis.Childh. 41, 454 - 471 (1966)
- 63 Tanner, J. M., Whitehouse, R. H., and Takashi, M.: Standards from Birth to Maturity for Height, Weight, Height Velocity, and Weight Velocity: British Children 1965 - II Arch.Dis.Childh. 41, 613 - 624 (1966)
- 64 Teller, W.: Echter und scheinbar endokriner Minderwuchs. Der Internist, 6.Jg. Heft 1, S. 15 - 22 (1965)
- 65 Todd, T. W.: Atlas of Skeletal Maturation (Hand), St.Louis, C.V.Mosby Company (1937)
- 66 Vogt, D.: Über den gegenwärtigen Stand der Akzeleration in Bayern. Archiv Kinderheilk. 159, S. 141 (1959)
- 67 Wagner, R., and Cohen, M. M.: Skeletal Maturation and Dental Development. Amer.Pediat.Soc. 68. Meeting Atlantic City 8. -9.5.58, ref.Am.J.Dis.Child. 96, 593-594(1958)

- 68 Wilkins, L.: The Diagnosis and Treatment of Endocrine Disorders in Childhood and Adolescence. Published by Charles C. Thomas, Springfield, Illinois (1950)

Besonderen Dank schulde ich Herrn Priv.Doiz.Dr. Thurmayr und Herrn Dipl.Mathematiker Welzl vom Institut für Medizinische Statistik, Dokumentation und Datenverarbeitung der Technischen Universität München dafür, daß sie mir in zuvorkommender Weise die statistische Auswertung meiner Ergebnisse in ihrem Institut ermöglichten und mich mit ihrem fachmännischen Rat unterstützten.

L E B E N S L A U F

Name: GRÜNZNER

Vorname: Peter Erich Adolf

Geboren: 3. Juli 1948

Geburtsort: Freising, Oberbayern

Wohnort: 8052 Moosburg, Westerbergstr.25

Eltern: Vater: Bruno, Chemiker, Freising
Mutter: Irene, geb. Köckert, Hausfrau,
Freising

Ehefrau: Johanna, geb. Heinz

Kind: Stefan

Volksschule (1954-59): Freising, Knabenschule St.Georg

Gymnasium (1959-68): Freising, Josef-Hofmiller-Gymnasium
9 Klassen, Abitur 1968

Studienweg: Beginn Wintersemester 1968/69 an der
Universität München, Medizinische Fa-
kultät
Vorphysikum nach 2 Semestern 1969
Physikum nach 5 Semestern 1971
Staatsexamen nach 10 Semestern 1973

Bisherige

berufliche Tätigkeit: 2 Jahre Zeitsoldat als Truppenzahn-
arzt in der Zahnstation des
Fla Rak Btl 32 in Freising

Seit März 1976 Assistenz Zahnarzt in
der Praxis Dr. Wackerbauer, Landshut

München, 19. 7. 1976

Peter Grünzner

